

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS - SECCION DE QUIMICAS

*Determinación de los niveles críticos de
Fosfato para el Maíz y sus interacciones
con los niveles de Fe aplicados*

MARIA ESTHER GARCIA Y LOPEZ DE SA

Madrid, 1980

1/261

a719782

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS - SECCION DE QUIMICAS

*Determinación de los niveles críticos de
Fosfato para el Maíz y sus interacciones
con los niveles de Fe aplicados*

MARIA ESTHER GARCIA Y LOPEZ DE SA

Reg. F.C. - 8166

Madrid, 1980



Mi profundo agradecimiento al Dr. y Profesor de Investigación D. Valentín Hernando Fernandez por su inestimable labor de dirección y formación.

También quiero expresar mi agradecimiento al Dr. D. Octavio Carpena Artés, Catedrático de Química Agrícola por codirigir y apadrinar esta Tesis.

Mi reconocimiento a toda la Unidad Estructural de Investigación de Agrobiología del Instituto de Edafología y Biología Vegetal del C.S.I.C., por su inestimable ayuda.

INDICE

	Pág.
1.- Objeto del trabajo.	1
2.- Introducción.	5
2.1.- Estado del P en los tejidos vegetales.	6
2.2.- Movilidad del P.	8
2.3.- Acción del P en el metabolismo.	9
2.4.- Efecto de la concentración del P sobre el desarrollo vegetal.	13
2.5.- Síntomas de deficiencia del P en los vegetales.	16
2.6.- Acción del Fe en el metabolismo.	20
2.7.- Síntomas de deficiencia del Fe en los vegetales.	24
2.8.- Interacción fósforo-hierro	28
3.- Materiales y métodos.	36
3.1.- Sistema de cultivo.	37
3.2.- I Experimento de invernadero.	44
3.3.- II Experimento de invernadero.	47
3.4.- III Experimento de invernadero.	50
3.5.- Metodología analítica.	53
4.- Resultados.	55
4.1.- I Experimento de invernadero	56
4.1.1.- Plantas desarrolladas en solu ción nutritiva normal.	56

	Pág.
4.1.1.1.- Rendimiento de materia seca.	56
4.1.1.2.- Contenido de nutrientes en parte aérea y raíz para las cinco diferentes edades de la planta.	58
4.1.1.3.- Velocidad de Absorción de nutrientes.	65
4.1.1.4.- Flujo de nutrientes a través de la raíz.	68
4.1.2.- Estudio comparativo de las plantas desarrolladas a distintas concentraciones de P.	73
4.1.2.1.- Aspectos visuales.	73
4.1.2.2.- Rendimiento en materia seca.	78
4.1.2.3.- Contenido de nutrientes en las plantas.	84
4.1.2.4.- Velocidad de absorción de los nutrientes en las plantas.	103
4.1.2.5.- Flujo de nutrientes a través de la raíz.	118
4.2.- II Experimento de invernadero.	133
4.2.1.- Aspectos visuales.	133
4.2.2.- Distribución de la materia seca.	142
4.2.3.- Distribución del contenido de P en las plantas.	147

	Pág.
4.2.4.- Distribución del contenido de Fe en las plantas.	155
4.2.5.- Distribución del contenido de N, K, Ca y Mg en las plantas.	159
4.2.6.- Distribución del contenido de Mn y Zn en las plantas.	176
4.3.- III Experimento de Invernadero.	184
4.3.1.- Aspectos visuales.	184
4.3.2.- Rendimiento en materia seca.	189
4.3.3.- Distribución del contenido de P	195
5.- Discusión.	202
5.1.- I Experimento de invernadero.	203
5.1.1.- Plantas desarrolladas en solu- ción nutritiva normal.	203
5.1.2.- Estudio comparativo de las plan- tas desarrolladas a distintas concentraciones de P.	210
5.2.- II Experimento de invernadero.	230
5.3.- III Experimento de Invernadero.	255
6.- Conclusiones.	258
7.- Bibliografía.	264

1.- OBJETO DEL TRABAJO

El objeto del trabajo es la determinación de las necesidades nutricionales de P y Fe en el maiz a lo largo del ciclo de cultivo, determinando la con-centración óptima de nutrientes que debe existir en el medio de cultivo, para la obtención de un máximo rendimiento en materia seca al final del ciclo.

Existen muchos trabajos sobre la concentración óptima de P para las distintas especies y dentro de ellas para las distintas variedades, pero existen muy pocos trabajos realizados a lo largo del ciclo de cul-tivo, con datos en los distintos estados fenológicos.

La realización de este tipo de trabajo es de sumo interés para el agricultor, pues de ellos se de-duce los momentos mas idóneos en que se debe realizar la fertilización, para obtener los mejores resultados al final de la cosecha.

Con el fin de llegar a este conocimiento se rea-lizaron experimentos de invernadero en soluciones nutritivas con plantas de maiz, desarrolladas en un amplio intervalo de concentraciones de P, analizando di-chas plantas en cinco etapas del desarrollo, asi como determinando la velocidad de absorción de los nutrien-tes y el flujo de ellos a través de la raiz, para obtener un mayor conocimiento de las exigencias nutri-

cionales del maiz.

Hay que tener en cuenta que la función fisiológica de un determinado nutriente, así como su mecanismo de absorción del suelo por el vegetal, no pueden ser estudiados e interpretados aisladamente de los otros nutrientes, ya que con frecuencia se producen interacciones entre los distintos elementos que influyen considerablemente en la nutrición de los vegetales y que por lo tanto deben ser considerados.

En el caso del Fe su deficiencia es extremadamente difícil de corregir mediante la aplicación de sales inorgánicas, y aunque algunos quelatos sintéticos han demostrado ser eficaces a la hora de aportar el Fe a las plantas, su costo es demasiado elevado.

No obstante la deficiencia del Fe en muchos casos se produce como consecuencia de la interacción del Fe con otros nutrientes. El P es uno de los macronutrientes que está frecuentemente implicado en dichas interacciones.

Por esto, es por lo que en la segunda parte de este trabajo (II y III Experimento) se realizaron experimentos factoriales de invernadero, en los cuales se variaban las concentraciones de P y Fe en la solu-

ción nutritiva, determinando el contenido de nutrientes en las plantas y así poder llegar a un conocimiento de los efectos de estas interacciones, en los nutrientes del maiz de la variedad objeto de estudio.

2.- INTRODUCCION.

2.1.- ESTADO DEL FOSFORO EN LOS TEJIDOS VEGETALES

El P es uno de los macronutrientes esenciales en el metabolismo vegetal. Se encuentra en las plantas formando parte del grupo fosfato, tanto en forma inorgánica como orgánica.

Considerando la composición porcentual de una planta observamos como el 80% de su peso total es agua, el C,H,O constituyen aproximadamente el 95% de la parte restante. Esto deja solo un pequeño % del peso total a los otros constituyentes de la planta; de esta pequeña fracción, el P representa aproximadamente de un 5 a un 20% . Es decir el P representa entre un 0,2 a 0,8% del peso total de materia seca.

A diferencia de los iones nitrato y sulfato, el átomo de P del ion fosfato no es reducido a un estado diferente de oxidación. El P es absorbido por las plantas principalmente como iones PO_4H_2^- y PO_4H^{--} , estos iones difieren en efectividad y generalmente están presentes en el medio nutritivo en cantidades desiguales dependiendo de la concentración de los iones OH^- en la zona próxima a la raíz.

Las plantas suelen acumular y mantener una elevada concentración de P en el interior de sus tejidos,

independientemente de que exista una concentración ba
ja en la solución del suelo; así, las plantas pueden
absorber P a partir de soluciones extremadamente dilui
das conteniendo de un 0,2 a 0,5 mg P_2O_5/l .

El P existe en muy pequeña proporción en los
tejidos vegetales en estado de fosfatos minerales (K,
Mg), pero en cantidad mucho mayor al estado de combina
ciones orgánicas, residuos propios del citoplasma cons
tituidos por ésteres del ácido ortofosfórico.

Los principales son:

a) La fitina: sal calcomagnésica del ester exa
fosfórico de un polialcohol cíclico, el inositol, re
presenta una reserva soluble en agua facilmente movil
en el interior del vegetal; se transforma rapidamente
por hidrólisis durante la germinación, desapareciendo
en este momento.

b) Los fosfolípidos: forman parte del citoplas
ma, son insolubles en agua pero muy hidrófilos, su hi
drolisis por medio de diversas enzimas finaliza con la
separación de los constituyentes. A este grupo perte
necen las lecitinas, que son glicerofosfoaminolípidos.
Tambien existen fosfolípidos no nitrogenados y fosfo
glúcidos.

c) Los ácidos nucleicos: entran en la constitu-

ción de los nucleoproteidos; por hidrolisis, dan ácido fosfórico acompañado de aminoácidos o de bases púricas.

Estas grandes moléculas, los nucleoproteidos contienen el 10% de ácido nucleico y el 90% de proteínas, se encuentran en el citoplasma y los nucleos celulares; la proporción elevada de P nucleico en los tejidos embrionarios está en relación directa con el papel del P en la síntesis de las proteínas.

2.2.- MOVILIDAD DEL FOSFORO

El P es un elemento movil en el interior del vegetal (Biddulph 1959), es decir, no permanece fijo en los tejidos en los que ha sido depositado, sino que es transportado de unas partes a otras de la planta.

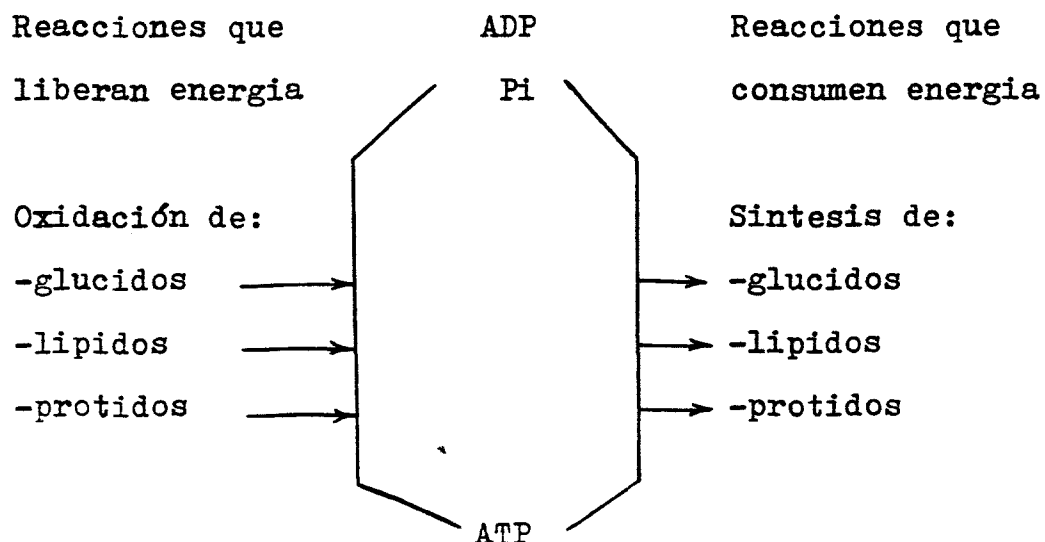
Cuando el aporte de P por el medio de cultivo (suelo o solución) se convierte en limitante, el existente en el interior de la planta, especialmente en hojas y tejidos viejos, es translocado desde estas partes menos activas a otras mas activas y jóvenes del vegetal. En general puede decirse que es un elemento que se encuentra presente, en elevadas concentraciones, en aquellas células que poseen una elevada actividad

metabólica.

Así Biddulph y col. (1958) indican la posibilidad de que exista una circulación continua del P, pudiendo un átomo recorrer varias veces un circuito completo en una planta al cabo del día.

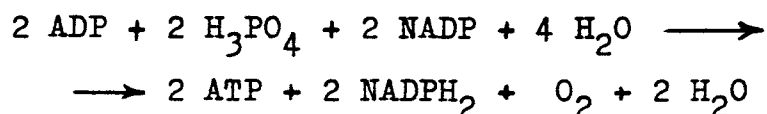
2.3.- ACCION DEL P EN EL METABOLISMO

El papel del P en la fisiología vegetal ha sido estudiado por numerosos investigadores, (Albaum y Umbreit 1943, Arnon 1953, Houghland 1960, Kakie 1969, Patterson y col. 1972). La función más importante de este nutriente es formar parte integrante del ATP. Este compuesto, rico en energía se descompone en ADP liberando energía que se utiliza en los procesos metabólicos.



La molécula de los pigmentos fotosintéticos puede ser activada por absorción de energía solar. La célula no puede utilizar directamente esta energía luminosa, por lo cual es preciso su transformación en energía química de enlace. Este proceso tiene lugar en los cloroplastos, mediante la fosforilación fotosintética, formación de ATP a partir de ADP y fosfatos inorgánicos (Arnon y col. 1954) . Esto indica que los condriosomas no son las únicas partículas citoplasmáticas capaces de sintetizar el ATP. La formación del ATP en los cloroplastos, se diferencia en que es independiente de las oxidaciones respiratorias, dependiendo de las condiciones de luz y de la cantidad de oxígeno (Arnon 1959).

La fosforilación fotosintética tiene lugar mediante dos mecanismos: fotofosforilación cíclica y fotofosforilación no cíclica, representada por las siguientes ecuaciones respectivamente.



En la segunda reacción, una parte de la energía luminosa se emplea en la reducción de NADP a NADPH₂ .

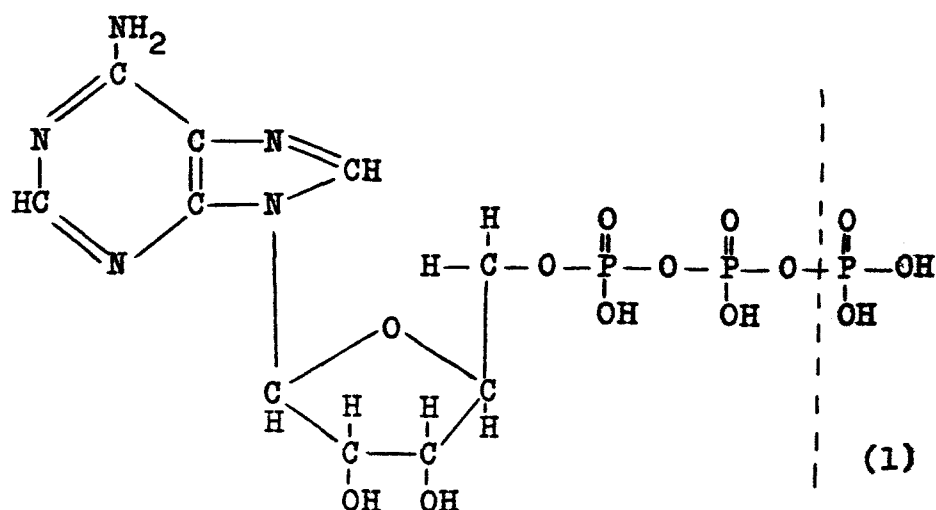
Juntos el ATP y NADPH_2 suministran la energía necesaria para la asimilación del CO_2 . Arnon llamó a esta energía, energía asimiladora.

En la fotosíntesis bacteriana en lugar de NADPH_2 se emplea NADH (Vernon 1967).

Las coenzimas NAD y NADP tienen un papel importante en las reacciones de oxidación-reducción en donde tiene lugar transferencia de H.

El proceso de fosforilación cíclica se encuentra en todos los órganos fotosintéticos, mientras que la no cíclica tiene lugar solo en los cloroplastos.

En el metabolismo de glúcidos el primer paso es la fosforilación y esta tiene lugar a partir del ATP, que mediante la ruptura por (1), se libera energía



que se transfiere a la glucosa sin pérdidas al C-6, interviniendo la enzima hexoquinasa, esta puede convertirse en glucosa 1 fosfato o fructosa 6 fosfato, pudiéndose fosforilarse de nuevo mediante otra molécula de ATP a fructosa 1,6 difosfato. Se obtienen así cuatro ésteres que son el punto de partida de muchas vías metabólicas de la célula viva.

La regeneración del ADP para formar el ATP con acumulación de energía en este último, se realiza mediante la oxidación total de glúcidos hasta CO_2 y H_2O con liberación de energía que es captada casi totalmente por el ADP para formar el ATP.

En los tejidos meristemáticos de la planta, sede de un activo crecimiento, se encuentran fuertes concentraciones de P que intervienen allí en la síntesis de nucleoproteínas. El P solo se encuentra en la fracción correspondiente de la molécula de la nucleoproteína, sino que interviene también a través del ATP en la activación de los aminoácidos que a su vez intervienen en la síntesis de la parte proteica de este compuesto. Se cree que además de las proteínas, los fosfolípidos son importantes constituyentes de las membranas celulares.

Así puede decirse que el P es un nutriente cla-

ve en los procesos de transferencia de energía en la respiración del vegetal y en la fotosíntesis. Es un constituyente del núcleo celular, esencial para la división de las células y el desarrollo de los tejidos meristemáticos. Interviene también en la síntesis de las proteínas celulares, en el metabolismo de los glúcidos y en la génesis del almidón y de diversos polisacáridos.

2.4.- EFFECTO DE LA CONCENTRACION DEL P SOBRE EL DESARROLLO VEGETAL.

Existe una relación entre la concentración de fosfato en la solución y el absorbido por las raíces, este último puede ser calculado en términos de absorción por gramo de raíz o por metro de raíz (Loneragan 1968, Mengel y Barber 1974a , Vernon y Allison 1964).

La absorción y transporte de los iones en las plantas se efectúa evidentemente bajo un control genético, absorbiendo las plantas jóvenes el fosfato mucho más rápidamente que las viejas.

Mengel y Barber (1974a , 1974b), Warncke y Barber (1974), estudiando el contenido de nutrientes en la parte aérea de plantas de maíz observaron que la

razón de absorción por metro de raíz disminuye rápidamente con el desarrollo de la planta, alcanzando un mínimo en la etapa de desarrollo del plumero.

Cada especie y dentro de ella cada variedad, necesita una concentración óptima de fosfato en el medio nutritivo para la cual, la absorción de dicho nutriente es máxima; Parker (1927) comprueba como para plantas de judías dicha concentración óptima es de 5 μM de P , mientras que Hoagland (1947) indica un valor de 60 μM de P para el cultivo de patatas, observando además como concentraciones de P mas elevadas producen un efecto muy bajo sobre la absorción.

Segun Burd (1947) la mayor parte de las plantas necesitan una concentracion de fosfato comprendida entre 20 y 30 μM para un óptimo desarrollo en solución nutritiva, pero la concentración en la solución del suelo es solo del orden de 0,5 μM a 10 μM (Barber y col. 1962) . Esta anomalia aparente, puede explicarse si la solución del suelo contiene concentraciones mas elevadas en la zona próxima a las raíces (Fawcett y Quirk 1962), o bien si las raíces son capaces de obtener fosfatos directamente de la superficie de las particulas del suelo (Coleman 1943, Islam 1955), asi con esto puede explicar Jenkins (1962) la diferente habi-

lidad de las especies para obtener fósforo labil del suelo, así como algunos de los efectos de los fertilizantes fosfatados sobre la competencia de ciertas especies (Rossiter 1964).

Existen diversas investigaciones sobre la relación entre la concentración de P en el medio externo y la cantidad absorbida por las raíces. Estos estudios han sido realizados, tanto en periodos cortos, utilizando raíces decapitadas (Noggle y Fried 1960) como utilizando plantas enteras (Russell y Shrocks 1959).

Loneragan y Asher (1967), Asher y Loneragan (1967) estudian dicha relación en periodos largos utilizando ocho especies diferentes de plantas en intervalo de concentraciones de $0,04 \mu\text{M}$ a $24 \mu\text{M}$ de P. Para una concentración $0,04 \mu\text{M}$ de P en el medio nutritivo todas las especies presentan gran deficiencia de P y a $24 \mu\text{M}$ de P presentan síntomas de toxicidad tres de ellas.

Los síntomas de toxicidad son completamente distintos de los producidos por la deficiencia del elemento nutritivo (Rossiter 1952, Shive 1918, Warren y Ben-zian 1959). Para analizar la naturaleza de esta toxicidad Bhatti y Loneragan (1970) estudian la distribución del ^{32}P y la concentración de P en las hojas de trigo

durante el desarrollo de los síntomas de toxicidad. La concentración de P en la zona próxima a la necrosis de la hoja varia de 4 a 5 % del peso seco y la mayor parte (80 % o mas), supone que se encuentra como sales inorgánicas del ortofosfato. Las concentraciones de fosfato en las células de la savia puede alcanzar valores de 200 mM con una presión osmótica de 10 atmósferas.

Esto sugiere que bajo ciertas condiciones esta concentración alta de fosfato puede distubar la relación de agua en las celulas de las hojas y así causan el daño observado.

Diversos autores (Green y col. 1973, Hoffman 1968) observan una mayor absorción de P por unidad de raíz en las plantas deficientes de P respecto a las plantas con P suficiente. Por otra parte dicha absorción puede ser alterada en una misma planta al variar la proporción de raíces expuestas al P, así en el maíz se produce una mayor demanda de P cuando se corta una parte de las raíces (Jungh y Barber 1974,1975).

2.5.- SINTOMAS DE DEFICIENCIA DEL P EN LOS VEGETALES

El P es un elemento cuya deficiencia está muy

extendida en el mundo. En países como Australia y África del Sur existen grandes áreas donde la obtención de cosechas está únicamente limitada por la disponibilidad de este nutriente.

Wallace (1961) indica que muchos de los efectos visible de la deficiencia de fosfato son similares a los causados por la falta de N. No obstante, a diferencia de lo que ocurre con el N; la deficiencia de fosfato es difícil de diagnosticar. Un cultivo puede estar padeciendo una grave inanición sin que exista ningún signo obvio de que la causa sea una falta de fosfato, es más, el momento en que se reconoce la deficiencia de este nutriente en las especies anuales, es ya demasiado tarde para remediarlo. Así el trigo y la cebada absorben una elevada cantidad de P en las etapas iniciales de su desarrollo y la falta durante este periodo, no puede rectificarse mas tarde, mediante un buen suministro.

Los vegetales que padecen deficiencia de P, suelen ser retrasados en su ciclo vital. Las hojas suelen presentar un color oscuro anormal, que puede ser inicialmente verde oscuro, como en el caso de la judía (*Phaseolus Vulgaris*), azul verdoso como en el tomate o simplemente verde pálido oscuro como en la lechuga.

En las hojas viejas suele aparecer un color verde-amarillento decolorido o bien marrón, frecuentemente se producen también pigmentos adicionales de color púrpura, como en el tomate y el maíz (*Zea mays*) o bien rojo y púrpura como en la avena (*Avena sativa*). Estos pigmentos están otras veces prácticamente ausentes, como en el caso del trigo, patata etc.

Otro síntoma de deficiencia común a muchas plantas, es un color bronce que se desarrolla en zonas necróticas muy pequeñas o en grupos aislados de células.

Los síntomas de deficiencia de P en las hojas de los vegetales, suelen aparecer primero en las partes mas viejas y progresar desde allí hacia las más jóvenes (Hewitt 1944,1945,1946).

En las plantas que padecen deficiencia de fosfato la relación parte aérea/raíz puede disminuir tal y como ocurre con la deficiencia de N (Millikan 1953).

Las deficiencias de P y de Zn, son tambien similares en algunos aspectos, tal como ocurre en el maíz y algunas otras plantas (Hewitt y Bolle-Jones 1951, 1954). La falta simultánea de ambos elementos puede ser causante de una distorsión en la forma de las hojas de algunos vegetales (Hewitt 1963).

Eatón (1949, 1950, 1952) ha estudiado el efecto

de la deficiencia de fosfato sobre las fracciones nitrogenadas y sobre los carbohidratos de diferentes tipos de plantas. En el caso del girasol (*Helianthus annuus*) la deficiencia de P provoca en las plantas jóvenes, un aumento en la concentración total de azúcares y almidón, pero dichos efectos no aparecen cuando se trataba de plantas viejas. En la soja (*Glycine max*) la deficiencia de P originó un incremento en la concentración de todos los carbohidratos y en la mostaza negra (*Brassica nigra*) se produjo un aumento en los contenidos de azúcares totales y reductores, así como en el de sucrosa, pero no en el almidón.

Como ya hemos dicho anteriormente el P en forma de ATP y otros numerosos productos fosforilados es tá involucrado en prácticamente todas las reacciones de síntesis de las células. La formación de ATP y de otros compuestos fosforilados derivados de la fotosíntesis o de la fosforilación oxidativa puede verse deprimida por un aporte inadecuado de fosfato.

La deficiencia de P, se traduce también frecuentemente en un incremento de la absorción de N, siéndole esperar bajo estas circunstancias una acumulación de aminoácidos libres en el interior del vegetal. Además, la deficiencia de fosfato influye negativamente

en las síntesis tanto del ácido nucleico como del desoxirribonucleico, este efecto puede restringir la división celular o causar defectos en los cromosomas.

2.6.- ACCION DEL Fe EN EL METABOLISMO

Las investigaciones acerca del papel desempeñado por el Fe en el metabolismo vegetal comienzan en 1844 en que Griss establece, que el Fe es necesario para el mantenimiento de la clorofila en las plantas.

Desde este momento los investigadores han tratado de descubrir los mecanismos mediante los cuales el Fe ejerce este control, gran parte de estos trabajos han sido encaminados a estudiar los síntomas de deficiencia de este nutriente en las plantas, sus interacciones con otros nutrientes, así como otro tipo de observaciones descriptivas. Por el contrario existe hasta el momento, poca investigación dirigida a establecer el efecto primario del Fe en los vegetales (Brown 1963, Hewitt 1963, Price 1968).

Los suelos no suelen presentar deficiencias en Fe, pero en ellos pueden escasear las formas intercambiables y solubles del Fe. Oertli y Jacobson (1960) dicen: "La concentración mínima de Fe, es mucho mayor que

la concentración de saturación, termodinámicamente posible, prácticamente en todo el rango de pH; así la absorción de Fe en el suelo, debe estar presente además de los iones de Fe escasamente solubles". En los suelos orgánicos, la absorción tiene lugar probablemente a partir de los complejos de Fe, que pueden ser más solubles que el Fe iónico.

La absorción del Fe del suelo o de la solución nutritiva, ha sido muy estudiada desde un punto de vista fisiológico (Beckett y Anderson 1973, Brown y Ambler 1974, Chaney y col. 1972, Christ 1974, Kashirad y col 1973, Ladiges 1977).

Branton y Jacobson (1962) han indicado ya la posibilidad de las plantas de absorber Fe a partir de las partículas de Fe insolubles que están en contacto con la superficie radicular.

El Fe es más fácil de absorber por las plantas en estado ferroso, pero también pueden ser absorbidas cantidades significativas de ión férrico, aceptándose de forma general que el estado ferroso es la forma de Fe metabólicamente activa en la planta (Heras 1960, Laulhere y Alquierbouffard 1969), debido a que el desarrollo de los cloroplastos y la síntesis de la molécula de clorofila requieren el Fe en su forma ferrosa.

Sin embargo Price (1968) indica que ambas formas Fe^{++} y Fe^{+++} son importantes en el metabolismo del Fe y que lo que es esencial es la proporción relativa de Fe^{++} y Fe^{+++} en la célula. Según este autor, los compuestos del Fe actuarían en los procesos fisiológicos como simples quelatos. Los compuestos orgánicos (ácidos orgánicos, aminoácidos, proteínas) actuarían como ligandos del Fe. Estos quelatos tendrían distinta estabilidad que dependería en parte del estado de oxidación del Fe.

El Fe tiene un gran número de funciones importantes en el metabolismo general de la planta. Aunque demuestra ser esencial para la síntesis de la clorofila, su papel químico tanto en la síntesis como en la degradación de la clorofila es aún incierto (Nason y Mc. Elroy 1963). Diversos autores comparten la opinión de que el hierro interviene en la síntesis de las proteínas del cloroplasto, y puede de este modo, modificar las estructuras responsables de la síntesis de la clorofila (Gauch 1957).

El hierro ha sido identificado como componente de diversas flavoproteínas que intervienen en las oxidaciones biológicas. También se encuentra Fe en las proteínas ferroporfirínicas dentro de las cuales se

encuentran los citocromos, las peroxidasas y las catalasas.

Según Lundegardh (1950, 1954) en su teoría del transporte, mediante los citocromos, el Fe juega un papel importante. En la superficie exterior de la membrana, el Fe reducido del citocromo es oxidado, perdiendo 1 e^- y uniéndose a un anión. En la superficie interior el Fe oxidado del citoplasma, pasa a reducido gracias a la adición de 1 e^- liberado en la reacción de deshidrogenación. El anión es liberado al interior en esta última reacción.

Otra forma del Fe encontrada en los cloroplastos es la llamada ferredoxina, que contiene 10 átomos de Fe por molécula, de los cuales 8 están probablemente unidos a grupos sulfhidrilo en la forma ferrosa. Ello tiene una gran importancia metabólica, puesto que su potencial redox, está muy cerca del átomo de H, y es probablemente una de las últimas etapas del paso de los e^- en el proceso fotosintético (Tagawa y Arnon 1962).

Es generalmente aceptado que el Fe no juega un papel esencial en la síntesis enzimática de las porfirinas (Carell y Price 1965). Fuwa y col. (1960) afirman que los ácidos nucleicos contienen generalmente

grandes cantidades de metales traza, incluidos el Fe. Además suponen que este nutriente puede jugar un papel esencial en el metabolismo de los ácidos nucleicos. Estas observaciones han sido confirmadas, identificándose una cromoproteína ribosómica que contiene un 20% de Fe (Domschke y col. 1970, Meyer Bertenirroll y Domschke 1970).

2.7.- SINTOMAS DE DEFICIENCIA DEL Fe EN LOS VEGETALES

La deficiencia de Fe en el interior de las células es causa de una disminución de la síntesis de la clorofila, lo que produce amarillamiento o blanqueamiento, en el color de las hojas, siendo las jóvenes especialmente afectadas, mientras que las más maduras no suelen presentar señales de clorosis. Debido a que el Fe es un nutriente poco móvil en el interior del vegetal las hojas jóvenes no pueden desmovilizar el Fe, que se encuentra en las hojas más viejas.

Un rasgo característico de la clorosis por falta de Fe es su típica localización internervial, caracterizada porque la superficie de la hoja, presenta normalmente un fino retículo de nervios verdes, sobre fondo de parénquima clorótico. Es rara la clorosis

total de las hojas verdes, sin embargo, en condiciones de deficiencia muy aguda, los nervios secundarios y terciarios, pueden también presentar clorosis.

La adición de Fe a las hojas, provoca una rápida síntesis de clorofila (Price y Carell 1964), cuando esa deficiencia no ha sido mantenida un periodo demasiado largo.

Se han realizado diversos trabajos encaminados a encontrar una correlación entre la deficiencia de Fe y el contenido en clorofila. Sin embargo, en este aspecto la investigación solo ha logrado un éxito limitado. Por ejemplo, Jacobson (1945), Smith y col. (1950), Wallihan (1955) afirman la existencia de esta correlación, mientras que otros investigadores, Iljin (1952), Jacobson y Oertli (1956), Lindner y Harley (1944), Weinstein y col. (1954), han comprobado que hojas cloróticas pueden contener tanto o más que las hojas normales.

Los contenidos de Fe en las hojas deficientes varían según las especies, y aún dentro de ellas, la bibliografía presenta valores muy dispares, los valores máximos en algunos cereales solo alcanzan 130 ppm. En hojas de cítricos se dan como valores normales 130 ppm (Carpena y col. 1957), y para melocotoneros

se citan valores extremos de 82 a 230 ppm. En soja y judías se señalan contenidos en hojas cloróticas de 50 a 100 ppm. Por otra parte Brown y col. (1967), O'Sullivan (1967), Wallace (1971), indican que en hojas cloróticas es posible que se observen valores de Fe total más altos, o similares, que en hojas normales.

La deficiencia de Fe acarrearía según Price (1968) los siguientes desequilibrios metabólicos:

- a).- Disminución de la formación de cloroplastos.
- b).- Aumento de la actividad de la clorofilasa
- c).- Disminución de la actividad de la nitrato reductasa.
- d).- Acumulación de porfirinas libres.
- e).- Disminución de la síntesis del ácido 5-amino levulínico.
- f).- Acumulación de aminoácidos y amidas.
- g).- Disminución de la actividad de la aconitasa.
- h).- Disminución de la división celular.
- i).- Aumento del contenido de ácidos orgánicos.

Estos extremos han sido estudiados por diversos investigadores, así Brown y Possingham (1957a), (1957b), observan que la deficiencia del Fe causa un cese abrupto

to, de la división celular en el meristemo apical de las raíces de guisantes, después de 7 días sin aporte de Fe. No obstante la expansión celular y la síntesis de las proteínas, parecen continuar.

También han sido comprobados (Jacobson y Oertli 1957) como los cloroplastos disminuyen de tamaño debido a la deficiencia de hierro. Glenister (1944) indica que la falta de este elemento no produce disminución en la velocidad de respiración de aquellas hojas viejas, que permanecen verdes. Las hojas jóvenes cloróticas, tienen por el contrario, una velocidad de respiración de menos de la mitad del valor correspondiente a las hojas de plantas con un contenido normal de Fe. Puede afirmarse que en condiciones normales el Fe es el principal metal de la cadena respiratoria.

La deficiencia de Fe puede tener lugar por diferentes causas, además de las debidas exclusivamente a la deficiencia de este elemento (Bennet 1945, Wallace y Hewit 1946). Estas causas pueden ser la presencia de carbonatos de Ca o Mg, la deficiencia de K o Ca, presencia de iones CO_3H^- , elevados valores de pH, así como un exceso de P o de diferentes metales como Co, Ni, Cd, Zn, Mg, y Mo (Ambler y Brown 1974, Ambler y

col. 1970, Cumbus y col.1977 , Hale y Wallace 1960, Pandey y Kannann 1979).

2.8.- INTERACCION FOSFORO-HIERRO

La correcta nutrición de las plantas depende no solo de la capacidad del suelo para aportar elementos nutritivos, sino tambien de otros muchos factores, tales como la velocidad de absorción de dichos nutrientes, su distribución en el interior de la planta así como de su movilidad.

Hay que tener además en cuenta que la función fisiológica de un determinado nutriente, así como su mecanismo de absorción del suelo por el vegetal, no pueden ser estudiados e interpretados aisladamente de los otros nutrientes, ya que con frecuencia se producen interacciones entre los distintos elementos que influyen considerablemente en la nutrición de los vegetales y que por tanto deben ser tenidas en consideración.

Una interacción puede ser definida como

- a) La acción reciproca de un elemento sobre otro en relación al desarrollo de la planta.
- b) La respuesta diferencial de un elemento al

ser combinado con distintos niveles de otro segundo nutriente aplicado simultáneamente.

Las interacciones pueden traducirse en una mejora en el crecimiento y salud de las plantas pero tambien pueden producir efectos negativos debidos a la interferencia de un determinado nutriente sobre la normal función metabólica de otros.

En el caso concreto del Fe, su deficiencia en los vegetales es extremadamente difícil de corregir mediante la aplicación de sales inorgánicas y aunque algunos quelatos han demostrado ser eficaces a la hora de aportar Fe a las plantas su costo es demasiado elevado (Chesnin 1963, Singh y Sinha 1977).

Esta dificultad en la corrección de esta deficiencia ha motivado el que sea de gran transcendencia el conocimiento de todas las interacciones que conducen o provocan una falta de hierro o una disminución de su absorción por los cultivos.

Cuando la deficiencia de hierro procede de unas practicas de cultivo inadecuadas, puede procederse a su corrección mediante un cambio en las mismas o en el tipo de fertilización. No obstante en muchos casos la deficiencia de Fe se produce como consecuencia de la interacción del Fe con otros nutrientes. El P es

uno de los macronutrientes que está frecuentemente implicado en dichas interacciones. La revisión de todos los estudios realizados sobre este tema, nos muestra que se conoce muy poco acerca de los mecanismos de interacción de ambos nutrientes.

Brown y Tiffin (1960) observaron como un exceso de P inactivaba el Fe en la soja y que lo hacia en mayor grado en la variedad PI-54619-5-1 que en la Hawkeye (HA). Dichos autores sugieren que el P compite por el Fe con las raices o con agentes quelantes y que las raices de PI eran menos competitivas que las de HA. Brown y col. (1959) observaron también que el efecto del P aumentaba en presencia del Ca, sugiriendo que la clorosis inducida por el encalado podia estar parcialmente conectada con el efecto combinado del Ca y del P.

El desarrollo de clorosis férrica en las plantas cuando existe una elevada concentración de P en el suelo o en la solución nutritiva ha sido tambien comprobado por diversos investigadores. Asi Watanabe y col. (1965) observaron una deficiencia extrema de Fe en las plantas cuando el nivel de fosfato en la solución nutritiva aumenta de 0,2 a 0,6 mM en presencia de FeEDDHA en una concentración de 40 μ M. La clorosis férrica y la disminución del rendimiento fueron corre-

gidas aumentando el nivel de FeEDDHA hasta 80 μM (2 a 4 ppm de Fe). La concentración de hierro en las partes aéreas no experimentó variación al aumentar el contenido de hierro en la solución, pero la relación P/Fe disminuyó de 158 a 61. Se comprobó pues como un aumento en el aporte de Fe^{+++} en forma de quelato, puede contrarrestar el efecto de un exceso de P.

Las plantas que muestran clorosis férrica inducida por la presencia de elevados niveles de fosfato, presentan generalmente una concentración normal de Fe en los tejidos, pero la relación de P/Fe es mucho mayor en las plantas cloróticas (DeKock y Hall 1955, Kashirad y Marschner 1974b). DeKock y col. (1960) afirman que el valor de la relación P/Fe es más indicativa de la existencia de clorosis que la concentración total de hierro en la planta.

En el caso concreto de las plantas de maíz, este efecto ha sido comprobado por Elgala y col. (1971) los cuales han observado que en plantas cloróticas las concentraciones de Fe en los tejidos experimentan un cambio muy pequeño con respecto a las plantas normales, mientras que las concentraciones de P, así como la razón P/Fe, aumentan sensiblemente. Estos resultados sugieren que la capacidad de las plantas para

absorber y mantener el hierro en una forma soluble y movil decrece a medida que la concentración de fosfato en la planta aumenta.

Otro hecho frecuentemente comprobado es que las concentraciones de Fe y P en las raíces de las plantas son varias veces superiores a las encontradas en las partes aéreas.

Este hecho puede ser interpretado como consecuencia de la precipitación de Fe-fosfato en el interior o en el exterior de la raíz. Bildduph y Woodbridge (1952) comprobaron como una preponderancia del contenido de fosfato sobre el de hierro en el medio nutritivo provocaba una rápida precipitación del hierro y una consiguiente supresión de su presencia en una forma soluble en las plantas.

Si por el contrario era el Fe el que estaba en superabundancia frente al fosfato la existencia de P en forma iónica era suprimida por la formación de un fosfato férrico complejo, de este modo el Fe influiría sobre la absorción de fosfato y su posterior paso a las partes aéreas mediante la eliminación por precipitación. Además la presencia de este precipitado sobre las superficies absorbentes de la raíz impediría la rápida entrada y paso del P a través del córtex, con

la consiguiente disminución del flujo a las partes aéreas.

Esta precipitación del Fe-fosfato sobre las superficies radiculares ha sido comprobada posteriormente por otros investigadores (Ayed 1970).

Hernando y col. (1978) estudiando el efecto en un amplio margen de concentración de fosfato (1.10^{-7} a 1.10^{-3} M/l sobre la absorción del Fe por plantas de cebada, comprobaron que cuando el nivel del P en el medio nutritivo era inferior a 1.10^{-5} M/l se producía una precipitación del Fe tanto más elevada cuanto menor era la concentración del P.

Por otra parte dichos autores comprobaron también como parte de este precipitado era adsorbido sobre la superficie radicular, teniendo lugar un mínimo de adsorción cuando la concentración de P era de 1.10^{-4} M/l, óptima para el desarrollo del cultivo en las condiciones en que se desarrolló el experimento. Por el contrario, para una concentración de P de 1.10^{-4} M/l se obtuvieron los máximos contenidos de hierro en las partes aéreas de las plantas, disminuyendo rápidamente dichos contenidos tanto para concentraciones de P superiores como inferiores a dicho valor 1.10^{-4} M/l. Estos trabajos parecen indicar la necesidad de

la presencia de un determinado nivel crítico de fosfato en el medio nutritivo para lograr una correcta absorción y posterior movilización del Fe en el interior del vegetal.

Análogamente Wallace y col. (1976) han comprobado como tanto un nivel deficiente como un exceso de P sobre la cantidad requerida por judías (*Phaseolus vulgaris*) puede originar una disminución del contenido de Fe en las partes aéreas.

Diversos autores (Ayed 1970) indican que la interacción entre el P y el Fe para producir clorosis férrica, parece ser causada preferentemente por una inmovilización del Fe en el interior del vegetal debido a la formación del Fe-fosfato, más que al fenómeno de la precipitación externa en el medio nutritivo.

Martell (1957) ha sugerido que el P puede ser considerado como un ligando que compite con los agentes quelatantes por el ión metálico. Diversas medidas electroforéticas han mostrado que el Fe se transloca en el interior de las plantas como un anión probablemente citrato-férrico (Brown y Tiffin 1965, Tiffin 1970). El hierro asociado con el fosfato es evidentemente mucho menos móvil, de este modo un exceso de fosfato puede interferir en el movimiento y funciona-

miento metabólico.

Por su parte Hernando y col. (1978) sugieren que el Fe podría movilizarse en forma de un compuesto del tipo fosfocitrato en el que debería existir una relación $\text{Fe}/\text{PO}_4^{---}$ determinada; esto podría explicar la disminución en el contenido de Fe en las partes aéreas de las plantas que se produce en presencia tanto de concentraciones muy bajas de P en el medio nutritivo como muy elevadas (Wallace y col. 1976).

De todo lo anteriormente expuesto, puede pues afirmarse que el ión fosfato puede afectar a la nutrición del Fe bien a través de un mecanismo de precipitación antes de su absorción por las plantas (Brown 1972) o bien a través de un proceso de inactivación en el interior de la planta (Brown y col. 1959, DeKock y Hall 1955, Odurukwe y Maynard 1969, Tiffin 1970).

3.- MATERIALES Y METODOS.

Se realizaron tres experimentos de invernadero, utilizando en todos ellos un híbrido de maíz, variedad H 209/77, cuyo ciclo es de 100 días, sucediendo la floración entre los días 65-75.

Los experimentos se realizaron en cultivo hidropónico. Un factor primordial, es la elección de un sistema de cultivo adecuado que reúna las condiciones necesarias para ser aplicado al estudio específico que se va a llevar a cabo.

3.1.- SISTEMA DE CULTIVO

Existen varios metodos que se utilizan en diseños de sistemas para cultivo hidropónico con el fin de hacer circular la solución nutritiva. Sin embargo, el metodo de "absorción por aire" (air-lift) tiene muchas ventajas comparado con otros, que son muy laboriosos o complicados, como el metodo de irrigación por gravedad, o la técnica de autoirrigación basada en la succión con cilindros cerámicos porosos y que aplica Von Haut (1972).

En los sistemas de solución circulante, que requieren bombas que impulsen la solución nutritiva en el circuito, además de ser complicados, la solución

nutritiva puede contaminarse al estar en contacto con las paredes metálicas de las mismas; las bombas que se utilizan actualmente se fabrican generalmente de material plástico, con lo cual se evita este peligro, pero su coste es bastante elevado. Algunos equipos que utilizan este método son los de Swan (1963) y Van Driel (1964).

Un sistema automático para riego de tiestos experimentales con soporte inerte, basado en el método de "absorción por aire", fué introducido en 1938 por Chapman y Liebing y modificado, más tarde por Eaton y Bernardin (1962). Basándose principalmente en este método de hacer circular la solución nutritiva existe una extensa bibliografía sobre sistemas de cultivo hidropónico como son los trabajos de Andrew y Pieters (1962), Cooper y Charlesworth (1977), DeKock y Hall (1962), Haahr (1975), Hoagland y Arnon (1938), Johnson y Atkins (1939) y Willians (1961) entre otros, en los cuales cada autor adapta el diseño a sus necesidades.

El sistema automático para cultivo hidropónico utilizado, está basado en el de Van Driel (1964), empleando para elevar la solución nutritiva desde los bidones depositados al tiesto nivel, el procedimiento de "absorción por aire", con lo cual se consigue una

renovación más constante de la solución nutritiva en los tiestos de cultivo.

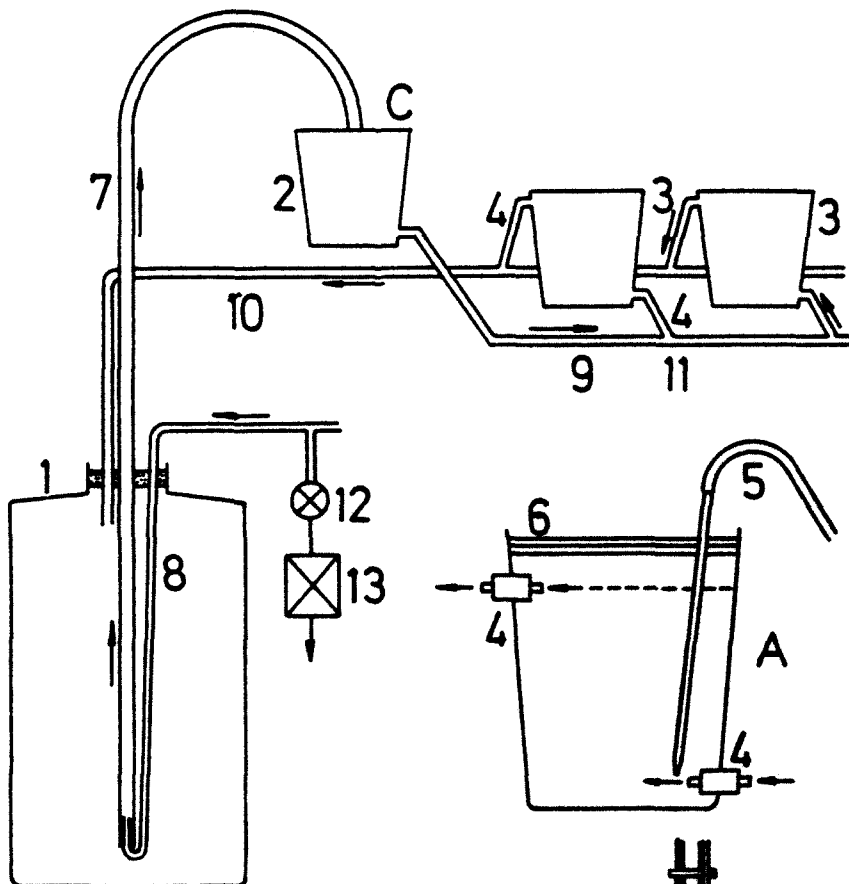
La solución nutritiva, que está almacenada en bidones de polietileno de 50 litros de capacidad, es elevada mediante una bomba de aire al primer tiesto que actúa como depósito de nivel, de este por gravedad se distribuye a los tiestos de cultivo, por la parte inferior de ellos. Cuando la solución nutritiva alcanza el nivel superior del tiesto, se origina la salida de la misma, volviendo al bidón de reserva, desde donde comenzará su ciclo (Fig. 1) (Fotos 1 y 2).

Los tiesto de cultivo son de 3 litros de capacidad y se encuentran unidos a la red de circulación de la solución nutritiva a través de un tapón de goma nº 2 atravesado por el tubo de plástico.

Los tubos de plástico utilizados son flexibles siendo de dos tamaños:

a) Por el que asciende la solución del bidón al tiesto nivel y se distribuye a los otros tiestos es de 10 mm de diámetro exterior y 8 mm de diámetro interior.

b) Por el que circula el aire que impulsa a la solución nutritiva del bidón de reserva es de 6 mm de diámetro exterior y 4 mm de diámetro interior.



- A - Tiesto de cultivo
 4 - Entrada y salida
 solución nutritiva
 5 - Aireación
 B - Bombeo solución nutritiva
 C - Tiesto de nivel



Fig.1 EQUIPO DE CULTIVO



Foto 1.- Sistema de cultivo

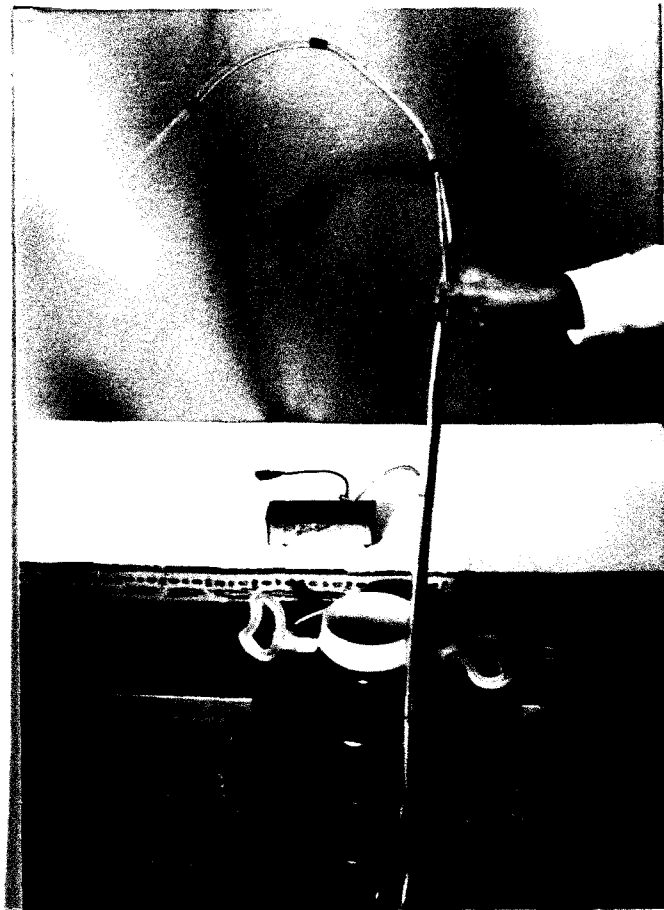


Foto 2.- Detalle del sistema de cultivo.

Las conexiones de los tubos se hacen mediante T de plástico de 9 mm de diametro exterior.

El tubo de plástico por el que asciende la solución nutritiva del bidón de reserva, se ata a una varilla de material plástico rígida, para que permanezca recta, dándole la curvatura final, con un alambre de 2,5 mm de diametro moldeable.

El sistema de aireación de los tiestos de cultivo está formado por una bomba de aire, que mediante tubos de goma virgen perforados con agujas inyectables, conducen el aire a un tubo de vidrio, que termina en una salida de 1 mm de diámetro y que va introducida en la solución nutritiva del tiesto de cultivo.

Las bombas de aire utilizadas son las de Nissei de doble aireación regulable, utilizando una salida para el bidón de reserva y la otra para la aireación de los tiestos de cultivo.

Los tiestos se tapan con un material de plástico rígido presentando dos orificios, uno central de 30 mm de diametro para colocar la planta y otro lateral de 8 mm de diametro para introducir el tubo de aireación.

Todo el material utilizado se pinta de negro, con el fin de evitar la formación de algas por la iluminación constante de la solución nutritiva.

El sistema de cultivo permite una circulación máxima de 13 litros/hora.

3.2.- I EXPERIMENTO DE INVERNADERO

Se utilizaron en el experimento plantas de maíz variedad H 209/77. Las semillas fueron germinadas en agua desionizada; al cabo de 5 días se seleccionaron 90 plantas uniformes y se transfirieron a unos recipientes de plástico de 3 litros de capacidad, en los cuales permanecieron hasta los 66 días en que dichos recipientes fueron sustituidos por otros de 50 litros.

El medio de cultivo utilizado fué una solución nutritiva completa, análoga a la utilizada por Hoagland y Snyder (1933), cuya composición por litro era la siguiente:

KNO_3	-----	0,51 g/l
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	-----	0,82 g/l
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-----	0,49 g/l
H_3BO_3	-----	2,86 mg/l
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	-----	1,81 mg/l
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	-----	0,08 mg/l
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-----	0,22 mg/l
MoO_3	-----	0,08 mg/l
Fe-EDTA	-----	1,10 mg/l

El fósforo fue añadido en forma de KH_2PO_4 en cantidades adecuadas para obtener seis soluciones nutritivas diferentes conteniendo 1.10^{-2} , 1.10^{-3} , 1.10^{-4} , 1.10^{-5} , 1.10^{-6} y 1.10^{-7} M/l. Para cada una de estas concentraciones se efectuaron 15 repeticiones.

Durante todo el experimento las soluciones nutritivas fueron aireadas continuamente y se mantuvieron en circulación constante mediante el dispositivo descrito en la figura 1, cuyo fin es minimizar las variaciones en la concentración de los distintos nutrientes que se producen con el tiempo como consecuencia de su absorción por las plantas.

Por otra parte, las soluciones nutritivas fueron renovadas por completo cada 7 días, efectuándose diariamente un control de su composición y añadiéndose en caso preciso las cantidades adecuadas de cada nutriente para restablecer el nivel inicial. En ningún caso la concentración de un determinado nutriente fué inferior a la necesitada por la planta para una máxima velocidad de absorción.

El pH fué mantenido constante a lo largo del experimento a un valor de $6,0 \pm 0,1$ mediante la adición de HCl o NaOH.

Al cabo de 23 días se efectuó el primer muestreo

seleccionando 3 plantas para cada uno de los seis tratamientos realizados. Los siguientes muestreos fueron efectuados los días 37, 56, 66, y 77 (Hanway 1963). Todas estas edades de las plantas son dadas como días a partir de la fecha de colocación de las semillas para su germinación.

Después de cada corte las plantas fueron lavadas con agua desionizada, separadas en raíz, y parte aérea; raíz tallo y hojas; raíz, tallo, hojas y mazorca, según el estado fenológico de las muestras, secadas a 75°C durante 24 horas, pesadas y preparadas para posteriores determinaciones analíticas.

Calculo de flujo de nutrientes por unidad de peso de raíz

La velocidad de absorción de nutrientes por unidad de peso de raíz, también llamada flujo a través de la raíz ha sido calculada a partir de la diferencia entre los datos obtenidos para cada dos muestreos sucesivos.

La absorción total de un determinado nutriente para cada edad de la planta se calculó como el producto del peso seco de la planta por su contenido en el

elemento considerado.

El flujo medio entre dos fechas sucesivas de muestreo fué calculado mediante la ecuación (1) dada por Brewster y Tinker (1972).

$$I = \frac{(U_2 - U_1) (\ln W_2 - \ln W_1)}{(t_2 - t_1) (W_2 - W_1)} \quad (1)$$

Donde I es la velocidad de absorción por unidad de raíz, U es la cantidad presente en la planta, t es el tiempo y W es el peso fresco de la raíz. Los subíndices 1 y 2 se refieren a los cortes inicial y final respectivamente. Esta ecuación refleja el carácter exponencial del desarrollo de la planta.

3.3.- II EXPERIMENTO DE INVERNADERO

Se utilizaron en el experimento plantas de maíz variedad H 209/77 . Las semillas se germinaron en agua desionizada; al cabo de 5 días se seleccionaron 48 plantas uniformes y se transfirieron a los recipientes de plástico de 3 litros de capacidad del sistema de cultivo descrito en 3.1 (una por tiesto) permane-

ciendo en los mismos hasta el final del experimento.

Se realizó un experimento factorial de 12 tratamientos con 4 niveles de P y 3 niveles de hierro, utilizando como base la solución nutritiva análoga a la utilizada por Hoagland y Snyder (1933), cuya composición por litro es la siguiente: KNO_3 0,51 g/l, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,82 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ 0,49 g/l, H_3BO_3 2,86 mg/l, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1,81 mg/l, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,08 mg/l, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,22 mg/l, MoO_3 0,08 mg/l.

El P fué añadido en forma de KH_2PO_4 , en cantidades adecuadas para obtener las 4 soluciones nutritivas diferentes conteniendo $1 \cdot 10^{-3}$, $1 \cdot 10^{-4}$, $1 \cdot 10^{-5}$ y $1 \cdot 10^{-6}$ M/l de P.

El Fe fué añadido en forma de complejo con el EDTA análogo al utilizado por Jacobson (1951), en cantidades adecuadas para obtener las concentraciones de $4 \cdot 10^{-5}$, $2 \cdot 10^{-5}$ y $1 \cdot 10^{-5}$ M/l.

Los tratamientos quedan reflejados en la tabla 1.

Las soluciones nutritivas fueron renovadas al principio cada 14 días, y posteriormente cada 7 días según el estado fenológico en el que se encontraban las plantas, efectuándose diariamente un control de su composición y añadiéndose en caso preciso las cantidades necesarias de cada nutriente para restablecer

TABLA 1

Tratamiento	Concentración P	Concentración Fe
	M/l	M/l
P _I Fe ₁	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$
P _I Fe ₂	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$
P _I Fe ₃	$1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-5}$
P _{II} Fe ₁	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
P _{II} Fe ₂	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$
P _{II} Fe ₃	$1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$
P _{III} Fe ₁	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
P _{III} Fe ₂	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
P _{III} Fe ₃	$1 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$
P _{IV} Fe ₁	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
P _{IV} Fe ₂	$1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$
P _{IV} Fe ₃	$1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-5}$

el nivel inicial.

El pH fué mantenido constante a lo largo del experimento a $6,0 \pm 0,1$ mediante la adición de HCl o NaOH.

A los 45 días a partir de la fecha de colocación de las semillas para la germinación se retiró el experimento.

Posteriormente las plantas fueron lavadas con agua desionizada, separadas en raíz, tallo y hojas, secadas a 75°C durante 24 horas, pesadas y preparadas para posteriores determinaciones analíticas.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza a partir de los resultados obtenidos en el experimento de invernadero y se interpretaron posteriormente utilizando la prueba de rango múltiple de Duncan (1955).

3.4.- III EXPERIMENTO DE INVERNADERO

Se utilizaron en el experimento plantas de maíz híbrido variedad H 209/77. Las semillas se germinaron en agua desionizada, al cabo de 5 días se selec-

cionaron 72 plantas uniformes y se transfirieron a los recipientes de plastico de 3 litros de capacidad del sistema de cultivo descrito en 3.1 (una por tiesto), permaneciendo hasta el final del experimento.

Se realizó un experimento factorial de 18 tratamiento con 6 niveles de P y 3 niveles de Fe, utilizando como base la solución nutritiva análoga a la utilizada por Hoagland y Snyder (1933), cuya composición es: KNO_3 0,51 g/l , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,82 g/l , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,49 g/l , H_3BO_3 2,86 mg/l , $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1,81 mg/l , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,08 mg/l , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,22 mg/l , MoO_3 0,08 mg/l .

El P fué añadido en forma de KH_2PO_4 , en cantidades adecuadas para obtener 6 soluciones diferentes conteniendo: $1,2 \cdot 10^{-4}$; $1,0 \cdot 10^{-4}$; $7,7 \cdot 10^{-5}$; $5,5 \cdot 10^{-5}$; $3,2 \cdot 10^{-5}$; y $1,0 \cdot 10^{-5}$ M/l.

El Fe fué añadido en forma de complejo con el EDTA análogo al utilizado por Jacobson (1951) en cantidades adecuadas para obtener las concentraciones de $4 \cdot 10^{-5}$; $2 \cdot 10^{-5}$; $1 \cdot 10^{-5}$ M/l .

Los tratamientos quedan reflejados en la tabla 2.

Las soluciones nutritivas fueron renovadas como en el experimento n°II .

El pH fué mantenido a $6,0 \pm 0,1$ constante.

TABLA 2

Tratamiento	Concentración P	Concentración Fe
	M/l	M/l
P _A Fe ₁	1,0 . 10 ⁻⁵	1 . 10 ⁻⁵
P _A Fe ₂	1,0 . 10 ⁻⁵	2 . 10 ⁻⁵
P _A Fe ₃	1,0 . 10 ⁻⁵	4 . 10 ⁻⁵
P _B Fe ₁	3,2 . 10 ⁻⁵	1 . 10 ⁻⁵
P _B Fe ₂	3,2 . 10 ⁻⁵	2 . 10 ⁻⁵
P _B Fe ₃	3,2 . 10 ⁻⁵	4 . 10 ⁻⁵
P _C Fe ₁	5,5 . 10 ⁻⁵	1 . 10 ⁻⁵
P _C Fe ₂	5,5 . 10 ⁻⁵	2 . 10 ⁻⁵
P _C Fe ₃	5,5 . 10 ⁻⁵	4 . 10 ⁻⁵
P _D Fe ₁	7,7 . 10 ⁻⁵	1 . 10 ⁻⁵
P _D Fe ₂	7,7 . 10 ⁻⁵	2 . 10 ⁻⁵
P _D Fe ₃	7,7 . 10 ⁻⁵	4 . 10 ⁻⁵
P _E Fe ₁	1,0 . 10 ⁻⁴	1 . 10 ⁻⁵
P _E Fe ₂	1,0 . 10 ⁻⁴	2 . 10 ⁻⁵
P _E Fe ₃	1,0 . 10 ⁻⁴	4 . 10 ⁻⁵
P _F Fe ₁	1,2 . 10 ⁻⁴	1 . 10 ⁻⁵
P _F Fe ₂	1,2 . 10 ⁻⁴	2 . 10 ⁻⁵
P _F Fe ₃	1,2 . 10 ⁻⁴	4 . 10 ⁻⁵

A los 46 días a partir de la fecha de colocación de las semillas para la germinación se retiró el experimento.

Posteriormente las plantas fueron preparadas para las determinaciones analíticas análogamente a las del experimento anterior.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza a partir de los resultados obtenidos en el experimento de invernadero y se interpretaron posteriormente utilizando la prueba de rango múltiple de Duncan (1955).

3.5.- METODOLOGIA ANALITICA

Una vez secada la muestra, se determina el peso seco de la misma, procediendo seguidamente a su trituración y homogeneización en un triturador Culatti,.

Para la determinación del P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, y Zn se realiza la mineralización de la muestra, por vía húmeda, con mezcla HNO_3 : HClO_4 .

La determinación colorimétrica del P se realiza por un sistema autoanalizador Technicon (Cadahia 1973)

basándose este método en el color desarrollado por la reducción del ácido fosfomolibdico con el ácido ascórbico entre el P de la muestra y un reactivo el "Duval B" que es molibdato amónico en sulfúrico. El color se desarrolla en un intervalo de acidez de 1,0 a 1,6 .

La determinación del K, Ca, y Na se realiza por fotometria de llama, y las de Mg, Fe, Mn, y Zn mediante la espectrofotometria de absorción atómica.

La mineralización de la muestra por el método Kjeldahl, con ácido sulfúrico concentrado y una mezcla catalizadora (200 g de SO_4K_2 y 10 g de Se en polvo, pulverizado y homogeneizado) se realiza para la determinación de N por colorimetria en un sistema auto-analizador Technicon (Cadahia 1973) ,desarrollandose el color por el método Berthelot (Dabin 1967, Didier y col. 1967), que consiste en fijar un atomo de N con dos moléculas de fenol bajo la acción oxidante del hipoclorito, obteniéndose un color azul de indofenol.

4.- RESULTADOS.

4.1.- I EXPERIMENTO DE INVERNADERO

4.1.1.- PLANTAS DESARROLLADAS EN SOLUCION NUTRITIVA NORMAL

4.1.1.1.- REDIMIENTO DE MATERIA SECA

Los resultados obtenidos para el rendimiento en materia seca (parte aérea y raíz) en los cinco diferentes estados de desarrollo de las plantas de maíz, cultivadas con una solución nutritiva normal, análoga a la utilizada por Hoagland y Snyder (1933) aparecen recogidos en la tabla 3 .

Las respectivas edades de la planta para los estados del I al V fueron 23,37,56,66, y 77 días respectivamente contados a partir de la germinación (Hanway 1963).

Estos días corresponden en una planta de desarrollo normal a los siguientes estados fenológicos del maíz:

23 días.-Está en el medio del periodo del rápido desarrollo del tallo, se hace visible el cuello de la 8ª hoja.

37 días.- En esta etapa se sigue desarrollando

TABLA 3.- Materia seca producida.

Edad de la planta	Materia seca	
	P. aérea	Raíz
	g/planta	
23 días	0,30	0,22
37 días	6,90	1,67
56 días	19,56	3,42
66 días	37,70	5,81
77 días	61,01	11,34

rapidamente el tallo, se hace visible el cuello de la 12ª hoja.

56 días.- En esta etapa es cuando tiene lugar la polinización, el desarrollo de la planta se para y comienza el desarrollo de la mazorca.

66 días.- Se inicia una rápida acumulación de materia seca en las semillas.

77 días.- En este periodo se acumula la materia seca en las semillas.

Todos los valores están expresados en gramos de materia seca por planta y representan un valor medio de tres repeticiones.

La relación existente entre la materia seca producida (tanto en la parte aérea como en la raíz) y la edad de las plantas aparece reflejada en la figura 2, en donde se comprueba la existencia de un punto de inflexión hacia los 56 días después de la germinación en la parte aérea, siendo a partir de esta fecha mucho más rápido el incremento en el peso de las plantas.

4.1.1.2.- CONTENIDO DE NUTRIENTES EN PARTE AEREA Y RAIZ PARA LAS CINCO DIFERENTES EDADES DE LAS PLAN- TAS

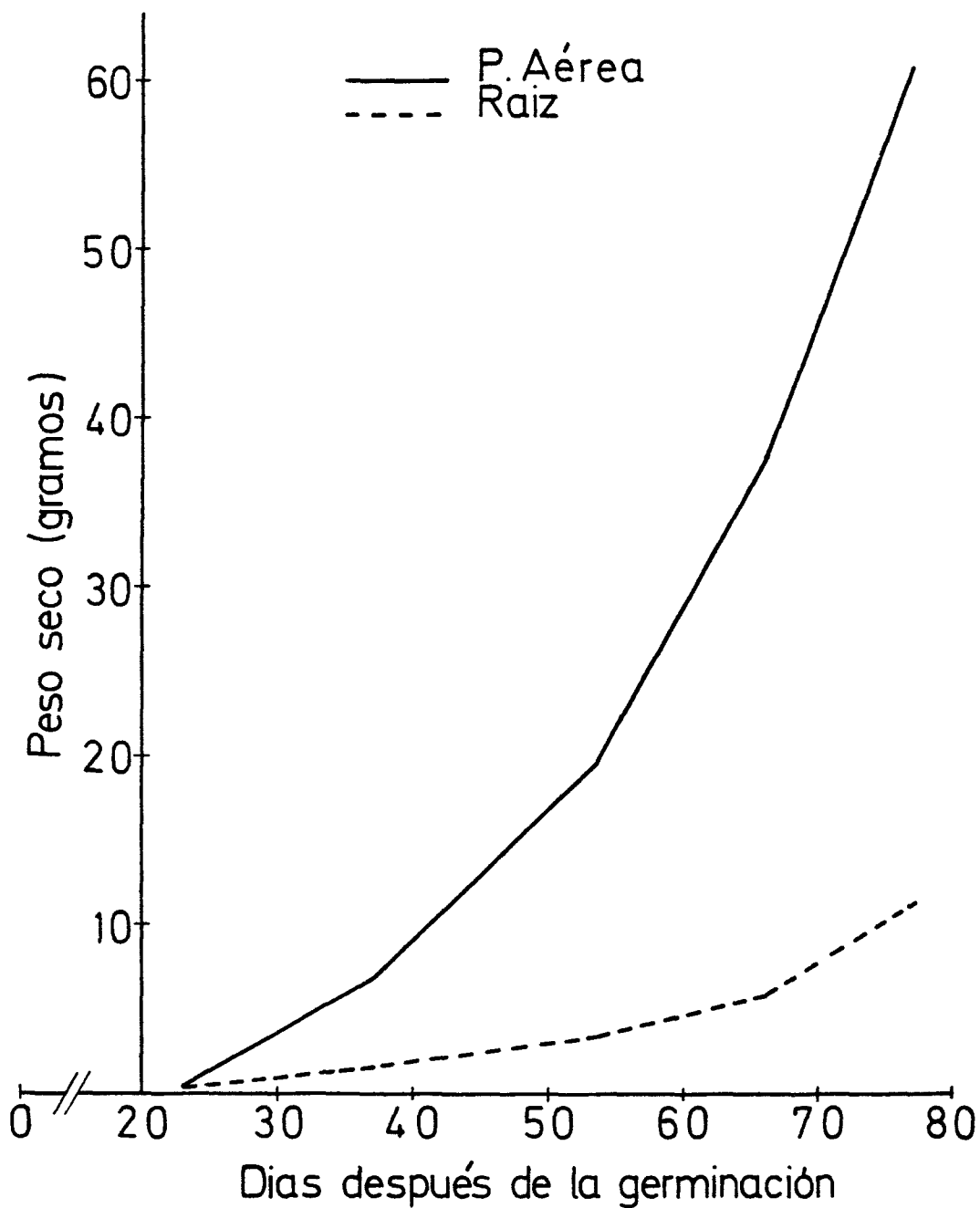


FIG. 2.- Relación del peso seco de la parte aérea y raíz en los distintos estados fenológicos del desarrollo.

Las concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg expresadas en % en parte aérea y raíz aparecen recogidas en la tabla 4 .

Todos los resultados representan el promedio de tres repeticiones.

En primer lugar, pudo observarse que tanto el contenido de N como el de K en la parte aérea disminuyen a medida que aumenta la edad de la planta.

Por lo que respecta al P, Ca, y Mg su comportamiento fue similar; se produjo una disminución brusca en el % de dichos nutrientes existentes en la parte aérea, entre que es visible el cuello de la 8ª y el de la 12ª hoja, a partir de ese momento la concentración permaneció prácticamente constante.

Por lo que respecta a la raíz, tanto en el caso del N como en el de P y K no se observó, al contrario que en la parte aérea, ninguna variación apreciable de su concentración en función de la edad de la planta .

El % de Ca encontrado en la raíz fué superior a partir de que tiene lugar la polinización. No así en el caso del Mg en el que se obtuvo una concentración máxima en raíz cuando es visible el cuello de la 8ª hoja.

TABLA 4.- Contenido de N, P, K, Ca y Mg en la parte aérea y raíz para los distintos estados en el desarrollo de la planta.

Edad de la planta		N	P	K	Ca	Mg
		%				
23 días	P. aérea	5,20	1,23	6,86	0,60	0,39
	Raíz	-	1,26	6,25	0,77	0,82
37 días	P. aérea	3,40	0,55	5,92	0,24	0,19
	Raíz	3,45	0,74	5,70	0,40	0,33
56 días	P. aérea	2,68	0,63	5,88	0,26	0,22
	Raíz	2,50	1,24	6,70	1,15	0,64
66 días	P. aérea	1,74	0,64	3,84	0,28	0,21
	Raíz	3,50	1,68	6,30	1,76	0,37
77 días	P. aérea	1,97	0,58	3,30	0,33	0,17
	Raíz	3,65	1,32	6,66	1,06	0,33
- m	P aérea	3,00	0,73	5,16	0,34	0,24
	Raíz	3,27	1,25	6,32	1,03	0,50

Para los nutrientes considerados pudo observar se como el % en los sistemas radiculares fué en todos los casos, a partir de la polinización practicamente doble o superior al encontrado en la parte aérea.

En la tabla 5 se recogen las concentraciones de Na, Fe, Mn y Zn en parte aérea y raíz expresadas en ppm.

Los contenidos de Na y Fe en la parte aérea muestran claramente como su concentración es máxima en los primeros estados del desarrollo, es decir cuando es visible el cuello de la 8ª hoja, manteniéndose después practicamente constante hasta el final del ciclo de cultivo.

Analogamente los contenidos del Mn y Zn en la parte aérea de las plantas experimentan una disminución brusca a partir de cuando es visible el cuello de la 8ª hoja, permaneciendo posteriormente el Mn practicamente constante hasta el inicio de la acumulación de la materia seca en la mazorca, en la cual se produce una notable acumulación, mientras que el Zn experimenta una disminución gradual hasta el inicio de la acumulación de materia seca en la mazorca.

Por lo que respecta a los sistemas radiculares

TABLA 5.- Contenido de Na, Fe, Mn y Zn en la parte aérea y raíz para los distintos estados del desarrollo de la planta.

Edad de la planta		Na	Fe	Mn	Zn
		- ppm -			
23 días	P. aérea	199	181	343	387
	Raíz	420	2625	900	325
37 días	P. aérea	45	79	97	78
	Raíz	230	845	1122	195
56 días	P. aérea	44	68	99	45
	Raíz	290	2200	1600	135
66 días	P. aérea	43	61	91	34
	Raíz	270	2050	1070	135
77 días	P. aérea	34	55	227	85
	Raíz	150	5050	2250	325
\bar{m}	P. aérea	73	89	171	126
	Raíz	272	2554	1389	223

de las plantas, en todos los casos la concentración es mucho mayor que en la parte aérea, vemos como en el caso del Na el nivel es máximo cuando es visible el cuello de la 8ª hoja, análogamente a lo que ocurre en la parte aérea, disminuyendo posteriormente hasta el final del cultivo (77 días) en la cual su contenido en la raíz no llega a alcanzar el 50% del encontrado en el I periodo. En cuanto al % de Mn su valor en la raíz es máximo al final del ciclo de cultivo, análogamente a lo que ocurre en el caso del Fe.

La concentración del Zn en la raíz presenta dos etapas con el máximo contenido de este nutriente; 1ª en la fase inicial del desarrollo de las plantas (23 días) y 2ª durante el último periodo (77 días).

Por lo que respecta al Fe, su concentración en la raíz es muy superior a las encontradas para los otros nutrientes, pudiendo observarse una notable acumulación durante el último periodo del ciclo de cultivo. Estas elevadas concentraciones de Fe encontradas en los sistemas radiculares corresponden en gran parte al Fe adsorbido sobre la superficie de la raíz (Hernando y col. 1978).

4.1.1.3.- VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES

Las velocidades de absorción de N, P, K, Ca, y Mg por las plantas se recogen en la tabla 6 . Dichas velocidades están expresadas en mg/planta día.

Los resultados obtenidos nos muestran que las velocidades de absorción de N, K y Mg aumentan rápidamente con la edad de la planta hasta el final del ciclo estudiado.

Por lo que respecta al P y Ca puede observarse como la velocidad de absorción de dichos nutrientes aumenta también con la edad de la planta para alcanzar un máximo en el periodo comprendido entre la polinización y el inicio de la acumulación de materia seca en las semillas, permaneciendo a partir de este momento prácticamente constante.

Por lo que respecta a los valores absolutos de absorción, los más elevados correspondieron al K con un máximo de 73 mg/planta día durante la acumulación de materia seca en las semillas, correspondiendo los mínimos al Mg con un máximo de 3,61 mg/planta día.

Las velocidades de absorción para el Na, Fe, Mn, Zn, aparecen en la tabla 7. Dichas velocidades están expresadas en µg/planta día.

TABLA 6.- Cálculo de la velocidad de absorción de N, P, K, Ca y Mg por planta en los diferentes estados de desarrollo.

Edad de la planta	N	P	K	Ca	Mg
- Días -	- mg/planta. día -				
6 - 23	-	0,38	2,04	0,21	0,18
23 - 37	-	3,12	33,60	1,40	1,13
37 - 56	16,74	6,08	46,05	3,56	2,46
56 - 66	27,23	16,95	42,99	11,22	3,41
66 - 77	66,52	15,03	73,13	10,47	3,61
\bar{m}	36,83	8,31	39,56	5,37	2,16

TABLA 7.- Cálculo de la velocidad de absorción de Na, Fe, Mn y Zn por la planta en los diferentes estados de desarrollo.

Edad de la planta	Na	Fe	Mn	Zn
- Días -	- µg/planta. día -			
6 - 23	9	37	18	11
23 - 37	39	96	160	48
37 - 56	61	363	256	25
56 - 66	135	565	233	71
66 - 77	52	4213	2700	637
\bar{m}	59	1055	673	158

Por lo que respecta a la velocidad de absorción de Na, Fe, Mn, Zn, podemos observar como en todos los casos dicha velocidad aumenta a medida que lo hace la edad de la planta, siendo máxima, con excepción del Na, en la última etapa del ciclo fenológico de las plantas.

En el caso del Fe, los elevados valores de absorción que se observan durante el último periodo de desarrollo, pueden estar relacionados con la acumulación de Fe adsorbido sobre la superficie de la raíz. A este respecto Branton y Jacobson (1962) indican la posibilidad de que las plantas absorben Fe a partir de las partículas de Fe insolubles que están en contacto con la superficie radicular.

4.1.1.4.- FLUJO DE NUTRIENTES A TRAVES DE LA RAIZ

Los valores representativos del flujo de N, P, K, Ca, y Mg a través de las raíces de las plantas, expresados como μg de nutriente absorbido por gramo fresco de raíz y por día, para las 5 diferentes edades de las plantas aparecen recogidos en la tabla 8.

Por lo que respecta a P, se observan dos periodos en los cuales el flujo es máximo: los comprendidos entre los 23-37 días, es decir entre que son visi-

TABLA 8.- Cálculo del flujo del N, P, K, Ca y Mg por unidad de raíz en los diferentes - estados del desarrollo de la planta.

Edad de la planta	N	P	K	Ca	Mg
- Días -	- $\mu\text{g}/\text{gr. día}$ -				
6 - 23	-	197	1058	109	93
23 - 37	-	243	2621	109	88
37 - 56	452	164	1243	96	66
56 - 66	265	261	662	173	52
66 - 77	565	128	622	89	31
\bar{m}	427	199	1241	115	66

bles los cuellos de la 8ª y 12ª hoja, y entre los 56-66 días, es decir entre la polinización y el inicio de acumulación de materia seca en las semillas.

En el caso del K el flujo máximo en las raíces de las plantas corresponden con el 2º periodo, es decir en el periodo del gran desarrollo del tallo, disminuyendo a partir de este momento hasta llegar a representar menos del 25% de dicho valor, durante el último periodo del ciclo de cultivo.

Por lo que respecta al Mg se produjo una constante disminución a lo largo de todo el periodo de desarrollo.

Los valores del flujo de Na, Fe, Mn y Zn a través de las raíces expresados en $\mu\text{g}/\text{gr}\cdot\text{aiz}\cdot\text{día}$ se recogen en la tabla 9.

Los resultados obtenidos nos muestran como en general, el flujo de Na, disminuye gradualmente a lo largo del cultivo, mientras que en el caso del Mn, se produce una sensible disminución en el periodo comprendido entre que es visible el cuello de la 12ª hoja y el inicio de la acumulación de materia seca en las semillas, para aumentar después de modo acusado durante la acumulación de materia seca en las semillas.

En el caso del Zn, el máximo valor del flujo se

TABLA 9.- Cálculo del flujo de Na, Fe, Mn y Zn por unidad de raíz en los diferentes estados de desarrollo de la planta.

Edad de la planta	Na	Fe	Mn	Zn
- Días -	- $\mu\text{g/g. día}$ -			
6 - 23	4,67	19,20	9,34	5,71
23 - 37	3,04	7,49	12,48	3,74
37 - 56	1,65	9,80	6,91	6,75
56 - 66	2,08	8,70	3,59	1,09
66 - 77	0,44	35,81	22,95	5,41
\bar{m}	2,38	16,20	11,05	4,54

encontró entre que es visible el cuello de la 12ª hoja y la polinización, y el mínimo en la etapa posterior hasta el inicio de la acumulación de materia seca en las semillas.

Por lo que se refiere al Fe vemos como el flujo de dicho nutriente a través de la raíz es máximo en las plantas jóvenes disminuyendo después bruscamente a partir de que es visible el cuello de la 8ª hoja. En el periodo posterior hasta que se inicia la acumulación de materia seca, el flujo de Fe solo representa un 50% del inicial. Por último diremos que el elevado valor encontrado durante la última etapa está también relacionado con el Fe adsorbido sobre la raíz.

4.1.2.- ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PLANTAS DESARROLLADAS A DISTINTAS CONCENTRACIONES DE P

4.1.2.1.- ASPECTOS VISUALES

Una vez germinadas las plantas de maíz, se trasplantan a los tiestos de cultivo (Fig. 1). siendo todas ellas muy uniformes. Al inicio de la 4ª hoja se observa un desarrollo desigual de unos tratamientos a otros, presentando el máximo en el nivel de 1.10^{-4} y el mínimo en los niveles de 1.10^{-6} y 1.10^{-7} M/l de P. En los niveles de 1.10^{-3} y 1.10^{-2} M/l de P se inicia la aparición de clorosis, manifestándose por unas rayas amarillentas en las hojas.

Posteriormente las diferencias se van acusando y el desarrollo es diferente, así cuando los niveles de P en la solución están comprendidos entre 1.10^{-5} y 1.10^{-2} M/l presentan cinco hojas las plantas, mientras que para niveles de P inferiores a este último valor se inicia la salida de esta hoja.

Al inicio de la 6ª hoja los niveles de 1.10^{-7} y 1.10^{-6} M/l de P presentan una gran deficiencia de P, no solo los tallos rojizos por elementos antocianicos, sino también las hojas viejas, debido a la gran

movilidad que presenta este nutriente en las plantas, empezando por el nervio principal y extendiéndose a toda ella. En el nivel de 1.10^{-5} M/l de P aparecen los tallos rojizos a pesar de tener un gran desarrollo. Por lo que respecta al nivel de 1.10^{-4} M/l de P es el que presenta el mayor desarrollo, teniendo las hojas más anchas. Mientras que en los niveles de 1.10^{-3} y 1.10^{-2} M/l de P se observan síntomas de clorosis.

Con la salida de la 7ª hoja se aumentan las rayas amarillas longitudinalmente de las hoja en los niveles altos de P (1.10^{-3} y 1.10^{-2} M/l), por otra parte en los niveles bajos de P (1.10^{-7} y 1.10^{-6} M/l) se detiene el desarrollo.

Estos efectos se van haciendo más patentes a medida que continua el desarrollo como puede apreciarse en la foto nº3 .

En las fotos nº 4,5,6 y 7, se observa como las plantas desarrolladas en los niveles de 1.10^{-2} y 1.10^{-3} M/l de P presentan síntomas de clorosis, las del nivel 1.10^{-4} M/l de P presentan un tono verde normal y en las del nivel de 1.10^{-5} M/l de P se observa la deficiencia de P en el color púrpura del borde de la hoja.

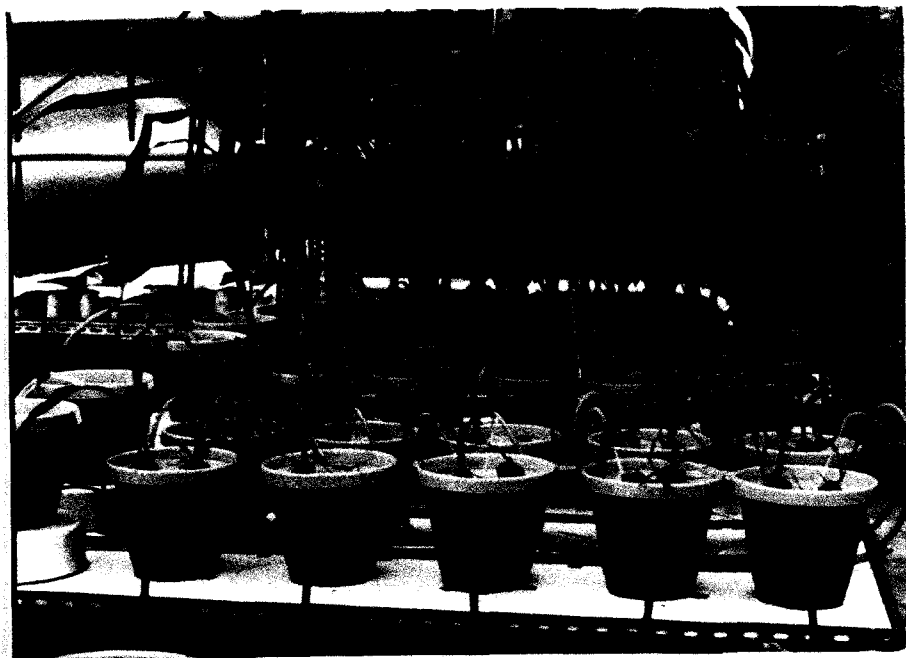


Foto 3.- Vista general del I experimento.



Foto 4.- Hojas de maiz cultivadas en sol. nutr. con 1.10^{-2} m/l de P.



Foto 5.- Hojas de maiz en sol. nutr. de 1.10^{-3} m/l de P



Foto 6.- Hojas de maiz cultivadas en sol. nutr.
con 1.10^{-4} M/l de P.



Foto 7.- Hojas de maiz cultivadas en sol. nutr.
con 1.10^{-5} M/l de P.

4.1.2.2.- RENDIMIENTO EN MATERIA SECA

Los resultados obtenidos para el rendimiento en materia seca (parte aérea y raíz) en los cinco diferentes estados de desarrollo de las plantas de maíz, cultivadas en solución nutritiva, cuyas concentraciones de P oscilan de 1.10^{-7} a 1.10^{-2} M/l aparecen recogidas en la tabla 10 .

Las respectivas edades de las plantas para los cinco estados de desarrollo fueron: 23, 37, 56, 66 y 77 días respectivamente, contados a partir de la germinación (Hanway 1963).

Estos días corresponden en una planta de desarrollo normal a los siguientes estados fenológicos del maíz:

23 días.- Está en el medio del periodo del rápido desarrollo del tallo, se hace visible el cuello de la 8ª hoja.

37 días.- En esta etapa se sigue desarrollando rápidamente el tallo, se hace visible el cuello de la 12ª hoja.

56 días.- En esta etapa es cuando tiene lugar la polinización, el desarrollo de la planta se para y comienza el desarrollo de la mazorca.

TABLA 10.- Materia seca producida en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Edad de la planta		Concentr. de P (M/l) en sol. nutritiva					
		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- gr/planta -							
23 Días	P.aérea	0,27	0,30	0,35	0,31	0,19	0,25
	Raíz	0,18	0,22	0,20	0,21	0,16	0,21
37 Días	P.aérea	2,27	6,90	4,71	2,45	0,31	0,33
	Raíz	0,73	1,67	1,10	1,25	0,34	0,25
56 Días	P.aérea	13,06	19,56	31,67	11,58	0,62	0,63
	Raíz	3,70	3,40	5,64	3,88	0,52	0,45
66 Días	P.aérea	23,32	37,70	45,35	15,05	0,60	0,65
	Raíz	6,18	5,81	8,10	5,19	0,38	0,45
77 Días	P.aérea	42,31	61,01	62,47	20,52	1,04	0,57
	Raíz	10,52	11,34	17,85	11,65	0,67	0,35
- m	P.aérea	16,25	25,09	28,91	9,98	0,55	0,49
	Raíz	4,26	4,49	6,58	4,44	0,41	0,34

66 días.- Se inicia una rápida acumulación de materia seca en las semillas.

77 días.- En este periodo se acumula la materia seca en las semillas.

Todos los valores recogidos en la tabla 10 representan un valor medio de tres repeticiones.

En la fig. 3 y 4 se refleja la relación existente entre el peso seco y las diferentes edades de las plantas.

Los menores rendimientos tanto en parte aérea como en raíz se obtuvieron en todos los casos, cuando la concentración de P en la solución nutritiva fué de 1.10^{-7} M/l , el aumento de este valor a 1.10^{-6} M/l no se traduce en ningún aumento sensible en el peso de materia vegetal, solo en presencia de 1.10^{-5} M/l pudo observarse un rápido incremento en el peso del material vegetal.

En los primeros estados del desarrollo los mayores contenidos en materia seca tanto en parte aérea como en raíz se obtuvieron en aquellas plantas que fueron cultivadas con una concentración de 1.10^{-3} M/l de P.

A partir de que es visible el cuello de la 12ª hoja los rendimientos más elevados, se obtuvieron en aquellas plantas que fueron cultivadas en solución

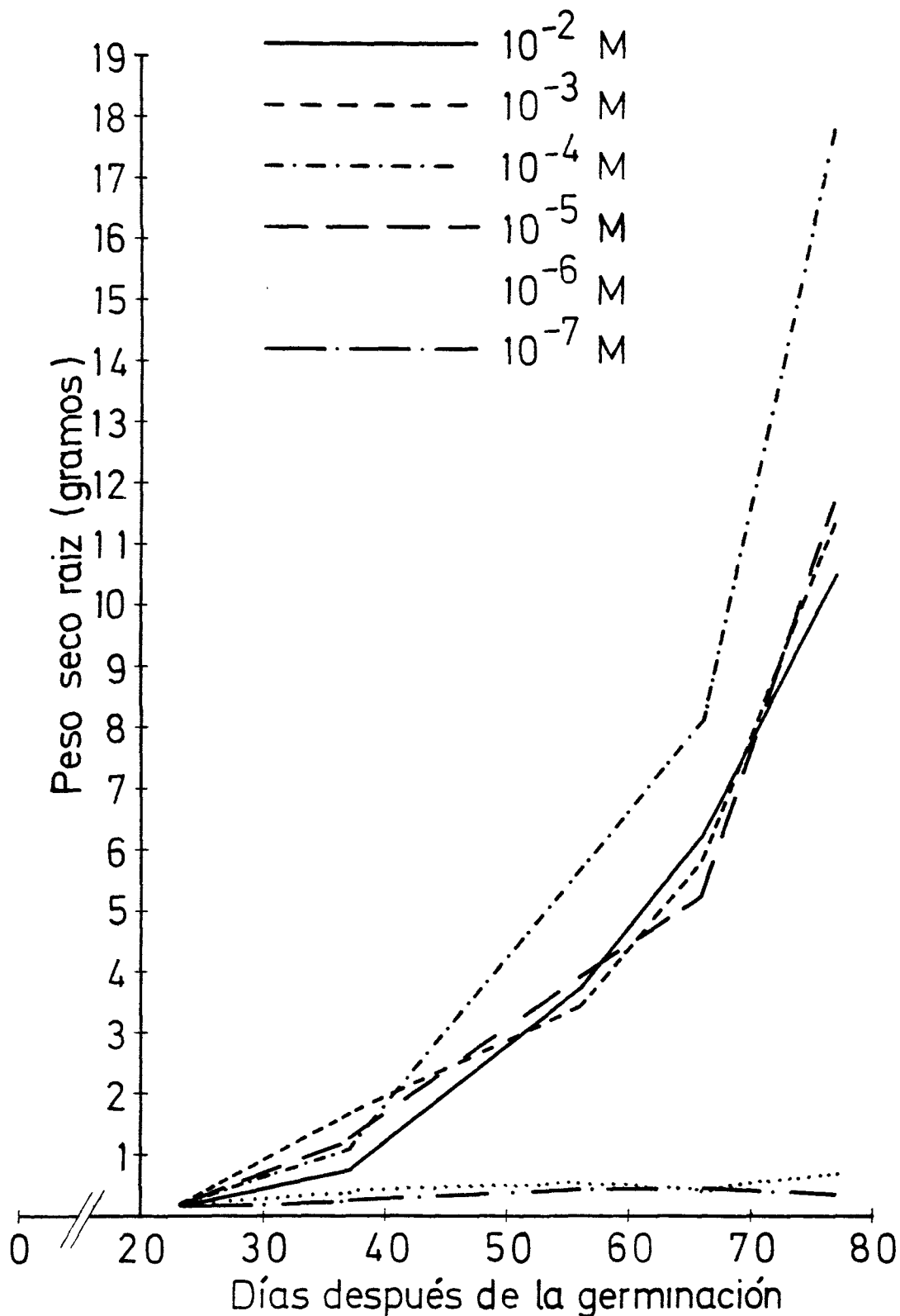


FIG 3.- Relación entre la edad de la planta y el peso seco de la raíz para cada una de las concentraciones de P

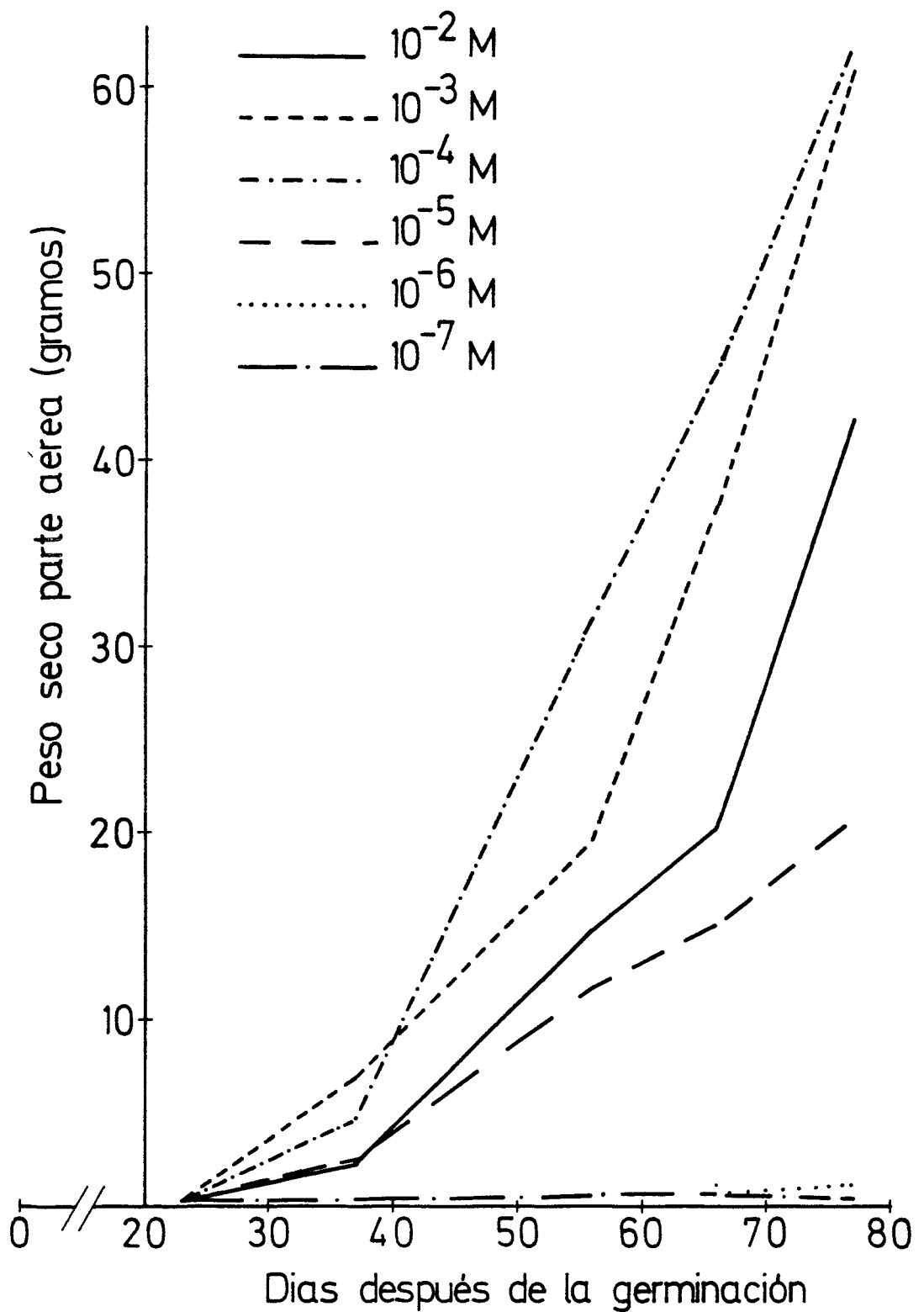


FIG. 4.- Relacion entre la edad de la planta y el peso seco de la parte aérea para cada una de las concentraciones de P.

nutritiva conteniendo 1.10^{-4} M/l de P. El incremento en el nivel de fosfato de la solución por encima de dicho valor no solo no se traduce en un aumento del rendimiento, sino que además para concentraciones elevadas (1.10^{-2} M/l) se observó un claro efecto depresivo en el peso de las plantas, unido a la aparición de clorosis.

4.1.2.3.- CONTENIDO DE NUTRIENTES EN LAS PLANTAS

CONTENIDO DE P EN LAS PLANTAS EN FUNCION DE LA CONCENTRACION DE P

Las concentraciones medias de P en parte aérea y raíz, para los distintos niveles de fosfato en la solución nutritiva se recogen en la tabla 11. Todos los valores representan el promedio de tres repeticiones.

Los resultados obtenidos muestran en primer lugar que no existe una proporcionalidad entre la concentración de P en el medio nutritivo y la cantidad que es absorbida por las plantas. De hecho no se observó ninguna diferencia en el % de P absorbido al aumentar la concentración de fosfato en la solución de 1.10^{-7} a 1.10^{-5} M/l .

En segundo lugar, puede observarse como para concentraciones inferiores a 1.10^{-4} M/l los % de P en parte aérea y raíz, son inferiores a los considerados como normales para una correcta nutrición de las plantas. Puede pues afirmarse que 1.10^{-4} M/l de P es una concentración limitante para el cultivo de maiz en las condiciones en que se realizó el experi-

TABLA 11.- Contenido de P en parte aérea y raíz, en función de la concentración de P en la solución nutritiva, a diferentes edades de la planta.

Edad de la planta		Concentr. de P (M/l) en sol. nutritiva					
		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- % -							
23 Días	P.aérea	0,98	1,23	1,05	0,27	0,18	0,25
	Raíz	1,80	1,26	1,02	0,36	0,16	0,15
37 Días	P.aérea	0,96	0,55	0,70	0,12	0,09	0,11
	Raíz	1,61	0,74	0,61	0,10	0,09	0,01
56 Días	P.aérea	0,60	0,63	0,15	0,06	0,08	0,09
	Raíz	6,30	1,24	0,20	0,09	0,08	0,08
66 Días	P.aérea	0,66	0,64	0,15	0,06	0,07	0,07
	Raíz	4,35	1,68	0,30	0,13	0,21	0,10
77 Días	P.aérea	0,68	0,58	0,41	0,09	0,06	0,06
	Raíz	2,03	1,32	0,46	0,15	0,12	0,08
- m	P.aérea	0,78	0,73	0,50	0,12	0,10	0,12
	Raíz	3,22	1,25	0,52	0,17	0,13	0,08

mento.

Para todos los niveles de P en el medio nutritivo (1.10^{-7} a 1.10^{-2} M/l) el % de dicho nutriente en la parte aérea es máximo cuando las plantas son muy jóvenes produciéndose posteriormente una notable disminución en su contenido para permanecer en general, practicamente constante hasta el final del ciclo de cultivo.

En el periodo comprendido entre que es visible el cuello de la 12ª hoja y la polinización, las plantas que se desarrollaron en presencia de 1.10^{-4} M/l de P en solución, presentan un notable descenso del contenido de P tanto en parte aérea como en raíz, encontrándose valores muy inferiores a los obtenidos cuando la concentración de P en la solución es de 1.10^{-3} M/l, mientras que valores superiores de P en el medio (1.10^{-2} M/l) no producen ningún aumento en el % de P encontrado en la parte aérea.

Por el contrario, en los sistemas radiculares se produce una acumulación de P cuando las plantas se desarrollan en presencia de elevados niveles de fosfatos. Dicha acumulación es tanto más elevada cuanto mayor es la concentración de P en el medio nutritivo.

Este efecto ha sido también mostrado por

Brewster y col. (1975) quienes han comprobado como en presencia de elevados niveles de fosfato: el % de P en las raíces de las plantas es sensiblemente más elevado que el encontrado en las partes aéreas.

CONTENIDO DE N, K, Ca, Mg EN LAS PLANTAS EN
FUNCION DE LA CONCENTRACION DE P

Las concentraciones medias de N, K, Ca, y Mg en parte aérea y raíz, para los distintos niveles de P en la solución nutritiva en los distintos estados fenológicos se recogen en las tablas 12, 13, 14, y 15. Todos los valores representan el promedio de tres repeticiones.

Los resultados obtenidos en la tabla 12 muestran que en el sistema radicular, a partir de la polinización el contenido en N disminuye al disminuir el contenido de P en la solución nutritiva.

Por lo que respecta al contenido de K en la parte aérea a lo largo de todo el ciclo de cultivo se aprecian dos tendencias según la concentración de P en el medio nutritivo, así en el intervalo de 1.10^{-2} a 1.10^{-5} M/l de P se aprecia una disminución del contenido de este nutriente con la edad de la planta a me-

TABLA 12.- Contenido de N en parte aérea y raíz, en función de la concentración de P en la solución nutritiva, a diferentes edades de la planta.

Edad de la planta		Concentr. de P (M/l) en sol. nutritiva					
		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
		- % -					
23 Días	P. aérea	2,50	5,20	3,75	3,70	3,50	4,10
	Raíz	-	-	-	-	2,20	3,00
37 Días	P. aérea	4,85	3,40	4,90	2,95	3,20	3,60
	Raíz	2,90	3,45	2,85	2,55	1,55	1,10
56 Días	P. aérea	2,96	2,68	1,62	1,59	-	-
	Raíz	2,80	2,50	2,65	1,75	0,63	1,20
66 Días	P. aérea	1,51	1,74	1,89	1,09	-	-
	Raíz	3,60	3,50	3,00	2,00	-	-
77 Días	P. aérea	2,14	1,97	2,05	1,84	2,61	2,91
	Raíz	3,50	3,65	3,40	2,80	2,40	2,10
\bar{m}	P. aérea	2,79	3,00	2,84	2,23	3,10	3,54
	Raíz	3,20	3,27	2,97	2,27	1,69	1,85

TABLA 13.- Contenido de K en parte aérea y raíz en función de la concentración de P en la solución nutritiva, a diferentes edades de la planta.

Edad de la planta		Concentr. de P (M/l) en sol. nutritiva					
		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
		- % -					
23 Días	P. aérea	7,25	6,86	6,96	6,06	5,25	7,87
	Raíz	7,25	6,25	5,87	4,37	4,25	5,00
37 Días	P. aérea	8,00	5,92	7,06	5,95	6,47	7,12
	Raíz	7,31	5,70	5,90	4,10	3,93	3,75
56 Días	P. aérea	5,93	5,88	3,72	4,84	6,73	7,65
	Raíz	5,00	6,70	5,50	5,00	3,87	3,56
66 Días	P. aérea	4,18	3,84	3,42	3,44	6,75	5,71
	Raíz	5,40	6,30	4,20	4,55	2,62	2,06
77 Días	P. aérea	4,34	3,30	3,35	3,13	5,83	6,23
	Raíz	6,65	5,66	5,85	4,95	3,18	1,37
\bar{m}	P. aérea	5,94	5,16	4,90	4,68	6,21	6,92
	Raíz	6,32	6,12	5,46	4,59	3,57	3,15

dida que avanza el ciclo de cultivo, mientras que en el de 1.10^{-6} y 1.10^{-7} M/l de P no se observaron variaciones en el contenido de K.

Por otra parte las plantas desarrolladas en un medio nutritivo cuya concentración de P oscila de 1.10^{-5} a 1.10^{-3} M/l no presentan diferencias en el contenido de K en la parte aérea a partir de que tiene lugar la polinización.

Por lo que respecta al sistema radicular para el nivel de 1.10^{-7} M/l de P se observa una disminución en el contenido de K a medida que avanza el desarrollo de la planta, no siendo esta tendencia apreciable para las otras concentraciones de P estudiadas en este experimento.

Por lo que muestra la tabla 14 se observa que en los primeros estados de desarrollo no existen diferencias en el contenido de Ca de la parte aérea respecto a la concentración de P en el medio nutritivo, por el contrario en los estados mas avanzados existe una acumulación en las concentraciones de 1.10^{-7} y 1.10^{-6} M/l de P .

Por lo que respecta al sistema radicular, se observan dos tendencias: a) El intervalo de concentración de 1.10^{-2} a 1.10^{-5} M/l de P en el cual el

TABLA 14.- Contenido de Ca en parte aérea y raíz en función de la concentración de P en la solución nutritiva, a diferentes edades de la planta.

Edad de la planta		Concentr. de P (M/l) en sol. nutritiva					
		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
		- % -					
23 Días	P. aérea	0,62	0,60	0,62	0,63	0,60	0,65
	Raíz	0,90	0,77	0,85	0,65	0,60	0,62
37 Días	P. aérea	0,41	0,24	0,34	0,50	0,66	0,85
	Raíz	0,67	0,40	0,47	0,39	0,61	0,57
56 Días	P. aérea	0,22	0,26	0,29	0,33	0,93	0,70
	Raíz	7,40	1,15	1,10	0,46	0,72	0,65
66 Días	P. aérea	0,23	0,28	0,35	0,32	1,05	0,58
	Raíz	5,00	1,76	1,38	0,43	0,62	0,52
77 Días	P. aérea	0,26	0,33	0,35	0,46	0,89	0,84
	Raíz	1,38	1,06	0,60	0,47	0,58	0,63
m	P. aérea	0,35	0,34	0,39	0,45	0,83	0,73
	Raíz	3,07	1,03	1,08	0,48	0,63	0,60

contenido de Ca disminuye al disminuir la concentración de P en la solución nutritiva y b) para las concentraciones de 1.10^{-6} y 1.10^{-7} M/l de P, se mantiene una concentración de Ca en la materia vegetal igual para los dos niveles e igual a lo largo de todo el ciclo de cultivo.

Los resultados del contenido de Mg en la tabla 15, ponen de manifiesto que al principio del desarrollo no se observan diferencias en el contenido de Mg en la parte aérea respecto a la concentración de P en la solución nutritiva, mientras que a medida que avanza el ciclo de cultivo (a partir de que es visible el cuello de la 12ª haja), se observa una mayor acumulación de este nutriente por la parte aérea en las concentraciones de P más bajas, (1.10^{-7} y 1.10^{-6} M/l), mientras que en el intervalo de 1.10^{-5} a 1.10^{-2} M/l de P se mantiene relativamente constante .

Por lo que se refiere al desarrollo radicular, en la primera etapa se observa que en el intervalo de 1.10^{-4} a 1.10^{-3} M/l de P en solución nutritiva presenta un contenido de Mg, superior al resto de las concentraciones de P estudiadas en el presente experimento.

TABLA 15.- Contenido de Mg en parte aérea y raíz, en función de la concentración de P en la solución nutritiva, a diferentes edades de la planta.

Edad de la planta		Concentr. de P (M/l) en sol. nutritiva					
		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
		- % -					
23 Días	P. aérea	0,35	0,39	0,45	0,33	0,25	0,35
	Raíz	0,55	0,82	0,86	0,47	0,45	0,46
37 Días	P. aérea	0,33	0,19	0,30	0,31	0,41	0,51
	Raíz	0,43	0,33	0,43	0,41	0,40	0,40
56 Días	P. aérea	0,20	0,22	0,22	0,28	0,59	0,52
	Raíz	0,19	0,64	0,59	0,27	0,42	0,32
66 Días	P. aérea	0,19	0,21	0,21	0,24	0,62	0,46
	Raíz	0,28	0,37	0,40	0,29	0,25	0,28
77 Días	P. aérea	0,16	0,17	0,20	0,27	0,68	0,56
	Raíz	0,29	0,33	0,43	0,40	0,31	0,22
\bar{m}	P. aérea	0,25	0,24	0,28	0,29	0,51	0,48
	Raíz	0,35	0,50	0,54	0,37	0,37	0,34

CONTENIDO DE Fe EN LAS PLANTAS EN FUNCION DE
LAS CONCENTRACIONES DE P

Las concentraciones medias de Fe en parte aérea y raíz, para los distintos niveles de fosfato en la solución nutritiva se recogen en la tabla 16 .

Puede observarse como para todas las concentraciones de P en solución y en todas las fases del ciclo de cultivo, las concentraciones de Fe en las partes aéreas son muy inferiores a las encontradas en la raíz .

Cuando las concentraciones de P en la solución nutritiva fueron inferiores a 1.10^{-5} M/l, pudo observarse una notable precipitación del Fe tanto en la solución como sobre la superficie de las raíces de las plantas. Este precipitado fué tanto más abundante cuanto menor fué la concentración de P en la solución.

Este hecho parece ser la causa de los elevados niveles de Fe que se encontraron en las raíces de las plantas para concentraciones de fosfato inferiores a 1.10^{-5} M/l y que son tanto más elevados cuanto ~~mayor~~ es la edad de la planta.

Cuando la concentración de fosfato en la solución fué superior a 1.10^{-4} M/l pudo observarse una disminución del contenido de Fe en las partes aéreas,

TABLA 16.- Contenido de Fe en parte aérea y raíz, en función de la concentración de P en la solución nutritiva, a diferentes edades de la planta.

Edad de la planta		Concentr. de P (M/l) en sol. nutritiva					
		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
		- ppm -					
23 Días	P. aérea	175	181	311	216	300	237
	Raíz	5750	2625	2500	2875	3500	2875
37 Días	P. aérea	78	79	82	77	165	212
	Raíz	1406	845	1150	840	3875	2625
56 Días	P. aérea	69	68	94	102	194	209
	Raíz	2750	2200	1300	1950	6250	12750
66 Días	P. aérea	67	61	100	71	208	181
	Raíz	3450	2050	2100	2550	13000	15000
77 Días	P. aérea	54	54	113	65	242	257
	Raíz	6050	5050	2850	3900	15000	18875
\bar{m}	P. aérea	89	89	140	106	222	219
	Raíz	3881	2544	1980	2423	8325	10425

lo cual parece indicar que concentraciones de P superiores a dicho valor pueden afectar a la traslocación de Fe en el interior del vegetal.

Diversos investigadores (Ayed 1970, Branton y Jacobson 1962, Kashirad y Marschner 1974a, Mathan y Amberger 1977) han comprobado como el fosfato está implicado en interacciones con la absorción del hierro por las plantas.

Aunque el mecanismo de dichas interacciones no se conoce con exactitud se sabe, no obstante, que un exceso de fosfato en el suelo o en solución nutritiva, puede provocar una precipitación del hierro antes de su absorción por el vegetal (Brewster y col. 1975), así como una posterior inmovilización de dicho nutriente en el interior de la planta (Brown 1972, Brown y col. 1959).

Por el contrario, niveles de P elevados ($1 \cdot 10^{-3}$ y $1 \cdot 10^{-2}$ M/l) se traducen también en general en un aumento de la concentración de Fe en los sistemas radiculares, dicho aumento fué tanto mayor cuanto mayor fué el nivel de P en el medio nutritivo para los 5 estados fenológicos considerados.

CONTENIDO DE Na, Mn, Zn, EN LAS PLANTAS EN FUN
CION DE LAS CONCENTRACIONES DE P

Las concentraciones medias de Na, Mn y Zn , en parte aérea y raíz, para los distintos niveles de P en la solución nutritiva en los distintos estados fenológicos se recogen en las tablas 17, 18 y 19. Todos los resultados son el promedio de tres repeticiones.

Los resultados obtenidos en la tabla 17 muestran en la parte aérea una mayor concentración de Na en la primera etapa del desarrollo, posteriormente en las etapas finales de desarrollo vuelve la concentración de Na a ser tan elevada como en la 1ª etapa para las concentraciones de 1.10^{-7} y 1.10^{-6} M/l de P.

Puede observarse como para todas las concentraciones consideradas en este experimento presentan un contenido de Na muy superior en la raíz que en la parte aérea.

Por lo que respecta al Mn, puede observarse como para todas las concentraciones consideradas en este experimento presentan un contenido de Mn superior en la raíz que en la parte aérea, presentando estas diferencias en menor grado las concentraciones de 1.10^{-7} y

TABLA 17.- Contenido de Na en parte aérea y raíz, en función de la concentración de P en la solución nutritiva a diferentes edades de la planta

Edad de la planta		Concentración de P (M/l) en solución nutritiva					
		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
		- ppm -					
23 Días	P. aérea	169	200	250	200	250	170
	Raíz	750	420	350	420	450	270
37 Días	P. aérea	74	45	50	55	150	200
	Raíz	340	230	200	150	370	320
56 Días	P. aérea	53	44	42	46	160	220
	Raíz	370	290	300	160	310	320
66 Días	P. aérea	47	43	43	41	290	150
	Raíz	280	270	260	130	330	280
77 Días	P. aérea	70	34	32	38	210	190
	Raíz	270	150	140	220	230	400
m	P. aérea	83	73	83	76	210	190
	Raíz	400	270	250	216	340	320

TABLA 18.- Contenido de Mn en parte aérea y raíz, en función de la concentración de P en la solución nutritiva, a diferentes edades de la planta.

Edad de la planta		Concentr. de P (M/l) en sol. nutritiva					
		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- ppm -							
23 Días	P. aérea	225	343	314	165	175	187
	Raíz	275	900	2000	462	275	437
37 Días	P. aérea	238	97	179	153	178	200
	Raíz	1056	1122	1335	5900	381	500
56 Días	P. aérea	178	99	79	93	197	224
	Raíz	620	1600	1395	1010	437	419
66 Días	P. aérea	154	91	91	85	208	206
	Raíz	1265	1070	1560	670	394	237
77 Días	P. aérea	247	227	164	154	223	233
	Raíz	1600	2250	1200	1460	381	156
m-	P. aérea	208	171	165	130	196	210
	Raíz	963	1388	1498	1900	374	350

1.10^{-6} M/l de P.

En relación a la concentración del Mn en la parte aérea, se observa en general que los valores más altos corresponden al principio y final del desarrollo, disminuyendo en los estados fenológicos intermedios a excepción de las concentraciones de P que producen una gran deficiencia de este elemento, en cuyo caso se observa practicamente un aumento continuo de los valores de Mn a medida que la planta es más vieja.

En la primera etapa del desarrollo, es decir hasta que es visible el cuello de la 8ª hoja, el mayor contenido de Mn en el sistema radicular corresponde a una concentración de 1.10^{-4} M/l de P en la solución nutritiva. En todo el ciclo del cultivo se observa un contenido menor de este nutriente en las concentraciones de 1.10^{-7} y 1.10^{-6} M/l de P.

Los resultados de la tabla 19 muestran un mayor contenido de Zn en la parte aérea al principio del desarrollo, para todo el intervalo de concentración de P en la solución nutritiva estudiada. Posteriormente, a partir de que tiene lugar la polinización, presenta un contenido de Zn más elevado, las menores concentraciones de P, es decir el intervalo

TABLA 19.- Contenido de Zn en parte aérea y raíz, en función de la concentración de P en la solución nutritiva, a diferentes edades de la planta.

Edad de la planta		Concentr. de P (M/l) en sol. nutritiva					
		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
		- ppm -					
23 Días	P. aérea	300	387	300	223	200	275
	Raíz	325	325	262	250	175	187
37 Días	P. aérea	163	78	102	116	127	200
	Raíz	162	195	170	145	137	150
56 Días	P. aérea	69	45	41	72	147	204
	Raíz	115	135	155	140	200	194
66 Días	P. aérea	69	34	42	63	154	187
	Raíz	175	135	95	145	150	131
77 Días	P. aérea	93	85	45	76	123	166
	Raíz	200	325	130	210	143	194
- m	P. aérea	139	126	106	110	150	206
	Raíz	195	223	162	178	161	171

de 1.10^{-7} a 1.10^{-6} M/l de P.

Respecto al contenido de Zn en el sistema radicular en la primera etapa se observa que el contenido disminuye al disminuir la concentración de P en la solución nutritiva, por el contrario en el periodo correspondiente a la polinización en general aumenta el contenido de Zn cuando disminuye la concentración de P en la solución nutritiva.

4.1.2.4.- VELOCIDAD DE ABSORCION DE LOS NUTRIENTES EN LAS PLANTAS

VELOCIDAD DE ABSORCION DE P EN LA PLANTA

Los valores correspondientes a la velocidad de absorción de P por las plantas de maiz expresada como mg de nutriente absorbido por planta y por día, para las seis diferentes concentraciones de fosfato en la solución nutritiva aparecen en la tabla 20 .

Los resultados obtenidos nos muestran como para concentraciones de P en la solución nutritiva inferiores a 1.10^{-5} M/l la velocidad de absorción de fosfato es extraordinariamente baja, manteniéndose además constante a lo largo de todo el ciclo de cultivo. Como puede apreciarse en la fotografia 3 (pag. 75) dicha velocidad de absorción es completamente insuficiente para mantener un normal aporte de P a las plantas.

Por lo que se refiere a las plantas que se desarrollaron en presencia de 1.10^{-5} M/l de P, su velocidad de absorción de P aumentó a medida que lo hacía la edad de la planta, alcanzándose un máximo de 1,98 mg planta/día en el último periodo estudiado. No obstante, estas plantas mostraron también claros sín-

TABLA 20.- Velocidad de absorción del P en planta entera en función de la concentración de P en solución nutritiva, a diferentes edades de la - planta.

Periodo de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- mg/día -					
6 - 23	0,34	0,38	0,33	0,09	0,03	0,05
23 - 37	1,99	3,12	2,44	0,19	-0,01	-0,04
37 - 56	14,58	6,08	0,96	0,36	0,02	0,03
56 - 66	13,49	16,95	3,46	0,42	0,04	-0,01
66 - 77	4,92	15,03	22,27	1,98	0,01	-0,01

tomas de deficiencia en este nutriente.

En el caso de las plantas que se desarrollaron en presencia de concentraciones de fosfato del orden de 1.10^{-4} M/l y superiores (1.10^{-3} y 1.10^{-2}), el estudio de los valores correspondientes, a su velocidad de absorción de P, nos indicó en primer lugar que durante las primeras etapas del ciclo de cultivo no se produjo ningún aumento en la velocidad de absorción de P en función de la concentración de P en el medio nutritivo. Es decir, no existió ninguna relación lineal entre la cantidad de P presente y la velocidad a la cual la planta es capaz de absorberlo.

A partir de que es visible el cuello de la 12ª hoja pudo observarse en general un aumento de velocidad de absorción de P a medida que es mayor la concentración de dicho nutriente en la solución nutritiva.

No obstante, en la última etapa del ciclo de cultivo se produjo un fenómeno inverso, siendo la velocidad de absorción máxima para una concentración de 1.10^{-4} M/l de P, y disminuyendo a medida que aumentaba la concentración de fosfato.

VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE K, Ca, Mg EN LA PLANTA

Los valores correspondiente a la velocidad de absorción de K, Ca.y Mg , expresados en mg absorbidos por planta y por día, para las seis concentraciones de fosfato en solución nutritiva, en los 5 estados fenológicos diferentes, objeto de estudio, quedan reflejados en las tablas 21, 22 y 23.

En el intervalo de 1.10^{-4} a 1.10^{-2} M/l de P , se produce en general un aumento en la velocidad de absorción del K, al avanzar el estado de desarrollo de las plantas. Sin embargo se observa una disminución en el periodo comprendido entre la polinización y el inicio de la acumulación de materia seca en las semillas.

Las plantas desarrolladas en solución nutritiva cuyo contenido de P sea inferior al adecuado (1.10^{-4} M/l) presentan una menor velocidad de absorción de K cuanto menor sea la concentración de P en el medio de cultivo.

Por lo que respecta a la velocidad de absorción del Ca, Los valores más bajos corresponden al intervalo de 1.10^{-7} a 1.10^{-6} M/l de P.

Para el nivel de 1.10^{-2} M/l de P experimenta un aumento la velocidad de absorción de Ca desde el primer

TABLA 21.- Velocidad de absorción del K en la planta entera, en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Período de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- mg/día -					
6 - 23	1,88	2,04	2,12	1,65	0,97	1,78
23 - 37	14,54	33,60	25,84	12,10	1,21	0,13
37 - 56	40,98	46,05	56,60	29,32	1,45	1,68
56 - 66	33,58	42,99	42,10	1,79	-1,09	-1,76
66 - 77	112,61	73,13	113,06	40,71	2,92	-0,56

TABLA 22.- Velocidad de absorción del Ca en planta entera, en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Período de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- mg/día -					
6 - 23	0,19	0,21	0,23	0,20	0,13	0,17
23 - 37	0,78	1,40	1,24	0,99	0,14	0,08
37 - 56	15,28	3,56	7,36	2,06	0,28	0,17
56 - 66	8,71	11,22	11,36	1,31	-0,08	-0,11
66 - 77	-12,45	10,47	4,20	7,12	0,41	0,07

estado fenológico estudiado, hasta la polinización, en la cual alcanza un valor máximo, disminuyendo en las etapas posteriores, mientras que para las concentraciones de 1.10^{-3} y 1.10^{-4} M/l de P aumenta la velocidad de absorción hasta el inicio de la acumulación de materia seca de las semillas.

Los resultados obtenidos en la tabla 23 muestran una tendencia general a aumentar la velocidad de absorción del Mg cuanto más desarrollada esté la planta, así las concentraciones de 1.10^{-2} y 1.10^{-3} M/l de P mantienen esta tendencia a lo largo de todo el ciclo. Por otra parte en el intervalo de 1.10^{-4} a 1.10^{-6} M/l de P se produce una disminución en el periodo posterior a la polinización, manteniéndose la tendencia general en el resto del ciclo de cultivo.

Mientras que el nivel de 1.10^{-7} M/l de P, se mantiene hasta la polinización, y a partir de aquí, la velocidad de absorción del Mg es negativa.

VELOCIDAD DE ABSORCION DEL Fe EN LA PLANTA

Los valores correspondientes a la velocidad de absorción de Fe expresados en μg de nutriente absorbido por planta y por día para las 6 concentraciones

TABLA 23.- Velocidad de absorción del Mg en planta entera, en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Periodo de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- mg/día -					
6 - 23	0,11	0,18	0,19	0,12	0,05	0,11
23 - 37	0,63	1,13	1,13	0,77	0,10	0,06
37 - 56	1,23	2,46	4,54	1,58	0,12	0,11
56 - 66	2,67	3,41	2,34	0,77	-0,03	-0,07
66 - 77	3,30	3,61	6,46	4,63	0,41	-0,01

de fosfato en solución nutritiva en los 5 estados fenológicos diferentes, quedan reflejados en la tabla 24.

En general se observa un aumento en la velocidad de absorción del Fe por la planta a medida que avanza el desarrollo del maíz, existiendo en algunos casos diferencias de más de 100 veces entre los valores extremos.

El máximo valor de la velocidad de absorción del Fe corresponde al final del ciclo de cultivo, en el caso de las plantas que se desarrollaron en las soluciones nutritivas que contenían concentraciones de P superiores a 1.10^{-7} M/l.

Por lo que respecta al nivel de 1.10^{-7} M/l de P en solución nutritiva los resultados varían, pues obtienen su máxima velocidad de absorción de Fe en el periodo comprendido entre los 37 y 56 días, produciéndose posteriormente una disminución al aumentar el estado de desarrollo de las plantas.

VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE Na, Mn, Zn EN LA PLANTA.

Los valores correspondientes a la velocidad de absorción de Na, Mn, Zn expresados en μg absorbidos,

TABLA 24.- Velocidad de absorción del Fe en planta entera, en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Período de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- $\mu\text{g}/\text{día}$ -					
6 - 23	62,74	37,37	36,05	38,82	36,22	38,88
23 - 37	10,88	95,68	74,59	42,46	54,13	0,93
37 - 56	499,99	363,48	527,65	400,09	118,25	272,49
56 - 66	1076,44	564,84	970,79	478,99	150,15	104,60
66 - 77	4043,47	4213,95	3276,05	2962,30	460,62	-23,97

por planta y por día, para las 6 concentraciones de fosfato en solución nutritiva en los 5 estados fenológicos diferentes, quedan reflejados en las tablas 25, 26 y 27.

En el intervalo de 1.10^{-7} a 1.10^{-6} M/l de P se observa una velocidad de absorción del Na inferior a la de las restantes concentraciones de P, presentando el valor mínimo en el periodo de 56 a 66 días en la concentración de P de 1.10^{-7} M/l en la solución nutritiva.

Por lo que respecta al intervalo de 1.10^{-5} a 1.10^{-2} M/l de P, se pone de manifiesto, un aumento en la velocidad de absorción de Na, en todo el intervalo, hasta que tiene lugar la polinización, presentando, a partir de esta época conductas diferentes según sea la concentración de P en la solución nutritiva. Así en la de 1.10^{-2} M/l de P sigue aumentando la velocidad de absorción, llegando en el último periodo a obtener el valor máximo, mientras que para las otras concentraciones de P existe un intervalo en el que la velocidad de absorción disminuye, así para la 1.10^{-3} M/l es en el último periodo estudiado, en la de 1.10^{-4} M/l es a partir de la polinización y en la de 1.10^{-5} M/l corresponde al periodo posterior a la polinización.

TABLA 25.- Velocidad de absorción del Na en planta entera, en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Período de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- $\mu\text{g}/\text{día}$ -					
6 - 23	10,65	9,03	9,28	8,71	6,96	5,92
23 - 37	17,48	38,96	21,13	12,52	3,80	2,78
37 - 56	85,59	61,16	150,83	44,04	3,57	7,91
56 - 66	71,31	134,66	77,36	10,89	6,43	-6,60
66 - 77	276,98	52,76	40,02	189,50	7,54	2,15

Los resultados obtenidos en la tabla 26 muestran un aumento en la velocidad de absorción del Mn a lo largo del ciclo de cultivo para las concentraciones de 1.10^{-4} , 1.10^{-3} y 1.10^{-2} M/l de P en la solución nutritiva.

El máximo valor de la velocidad de absorción del Mn corresponde al último periodo de desarrollo, en la concentración de 1.10^{-3} M/l de P, y el mínimo al periodo previo a la polinización en la concentración de 1.10^{-5} M/l de P.

Por lo que respecta al Zn, los valores más bajos de la velocidad de absorción de Zn corresponden al intervalo de 1.10^{-7} a 1.10^{-6} M/l de P.

En las concentraciones restantes existe una tendencia general a aumentar la velocidad de absorción de Zn a medida que avanza el desarrollo en las plantas de maíz.

El valor máximo de la velocidad de absorción de Zn corresponde al último periodo del nivel de 1.10^{-3} M/l de P en la solución nutritiva.

TABLA 26.- Velocidad de absorción del Mn en planta entera, en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Periodo de la planta	Concentración de P (M/l) en solución nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- $\mu\text{g}/\text{día}$ -					
6 - 23	6,52	17,84	30,17	8,64	4,50	8,17
23 - 37	86,47	160,56	130,37	541,12	7,57	3,01
37 - 56	170,14	255,95	347,19	142,82	9,18	7,42
56 - 66	647,51	232,64	753,61	0,87	-8,15	-8,07
66 - 77	1479,82	2700,71	1368,55	1347,84	21,16	-5,06

TABLA 27.- Velocidad de absorción del Zn en planta entera, en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Periodo de la planta	Concentración de P (M/l) en solución nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- $\mu\text{g}/\text{día}$ -					
6 - 23	8	11	9	7	4	6
23 - 37	25	48	37	25	1	-1
37 - 56	44	25	80	48	6	6
56 - 66	133	71	45	26	-4	-2
66 - 77	308	638	226	212	7	-4

4.1.2.5.- FLUJO DE NUTRIENTES A TRAVES DE LA RAIZ

FLUJO DE P A TRAVES DE LA RAIZ

Los valores representativos del flujo de P a través de las raíces de las plantas de maiz, desarrolladas en un medio nutritivo en el que se varia únicamente el contenido de P de 1.10^{-7} a 1.10^{-2} M/l , quedan reflejadas en la tabla 28. Dichos valores están expresados en μg de P/g.fresco de raiz y por dia.

En dicha tabla se observa que en el intervalo de concentraciones de 1.10^{-7} a 1.10^{-5} M/l de P el flujo es mucho menor que el presentado por el resto de las concentraciones de P objeto de estudio.

Por lo que respecta al intervalo de 1.10^{-2} a 1.10^{-4} M/l de P, presenta un flujo prácticamente constante a lo largo de este intervalo de concentración hasta que es visible el cuello de la 12ª hoja, posteriormente en el periodo siguiente hasta la polinización se observa una gran diferencia en el flujo presentando un valor máximo la concentración de 1.10^{-2} M/l de P, que disminuye hasta menos de un 30% al pasar a 1.10^{-3} M/l de P, y sigue disminuyendo hasta menos de un 5% al pasar a 1.10^{-4} M/l de P, mientras

TABLA 28.- Flujo de P a través de la raíz, en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Período de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- $\mu\text{g/g. día}$ -					
6 - 23	199	197	194	50	26	40
23 - 37	247	243	229	20	0	-12
37 - 56	579	164	22	12	4	6
56 - 66	254	261	37	7	7	0
66 - 77	48	128	115	18	1	-2

que en el periodo siguiente a la polinización el flujo permanece prácticamente constante en el intervalo de 1.10^{-2} a 1.10^{-3} M/l de P en la solución nutritiva; disminuyendo al pasar a 1.10^{-4} M/l de P, asimismo en el último periodo el intervalo de flujo constante corresponde de 1.10^{-3} a 1.10^{-4} M/l de P. Es decir, según el estado fenológico de la planta, existe un intervalo de concentraciones de P en la solución nutritiva para el cual el flujo de P a través de las raíces es máximo.

FLUJO DE K, Ca, Mg A TRAVES DE LA RAIZ

Los valores representativos del flujo de K, Ca y Mg a través de las raíces de las plantas de maíz, desarrolladas en un medio nutritivo en el que se varia únicamente el contenido de P de 1.10^{-7} a 1.10^{-2} M/l, quedan reflejados en las tablas 29, 30 y 31 . Dichos valores están expresados en $\mu\text{g/g}$. fresco de raíz y por día.

El flujo máximo de K corresponde al periodo entre que es visible el cuello de la 8ª hoja y la 12ª hoja en el intervalo de 1.10^{-3} a 1.10^{-4} M/l de P, en este periodo se observa un aumento del flujo de K

TABLA 29.- Flujo de K a través de la raíz, en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Período de la planta	Concentración de P (M/l) en solución nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- $\mu\text{g/g. día}$ -					
6 - 23	1093	1058	1233	924	752	1308
23 - 37	1803	2621	2424	1307	479	40
37 - 56	1627	1243	1324	956	339	336
56 - 66	631	662	453	32	-196	-295
66 - 77	109	622	582	365	405	-87

al pasar la solución nutritiva de 1.10^{-2} a 1.10^{-3} M/l de P, manteniéndose en el intervalo de 1.10^{-3} a 1.10^{-4} M/l de P, para disminuir en el intervalo de 1.10^{-4} a 1.10^{-7} M/l de P.

Mientras que posteriormente y hasta que se inicia la acumulación de materia seca en las semillas se observa una disminución del flujo de K al disminuir la concentración de P en la solución nutritiva, siendo el mínimo en el periodo posterior a la polinización en el intervalo de 1.10^{-6} a 1.10^{-7} M/l de P.

Por otra parte en todo el intervalo de concentraciones de P se observa una disminución brusca en el flujo de K, después de que tiene lugar la polinización.

Por lo que respecta al flujo de Ca se observa, que las plantas presentan un máximo correspondiente al periodo comprendido entre que es visible el cuello de la 12ª hoja y la polinización, desarrolladas en el medio nutritivo con una concentración de 1.10^{-2} M/l de P.

Por otra parte en la concentración de 1.10^{-7} M/l de P se observa un flujo de Ca mayor hasta que es visible el cuello de la 8ª hoja, produciéndose una disminución en el periodo siguiente, para mantenerse

TABLA 30.- Flujo de Ca a través de la raíz, en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Período de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- $\mu\text{g/g. día}$ -					
6 - 23	108	109	134	110	98	126
23 - 37	97	109	116	106	57	26
37 - 56	607	96	172	67	66	34
56 - 66	164	173	122	23	-14	-19
66 - 77	-120	89	22	64	57	11

sin grandes variaciones a través de todo el ciclo de cultivo estudiado.

De los valores obtenidos en la tabla 31 se deduce que el flujo de Mg máximo, corresponde prácticamente a lo largo de todo el ciclo, a la concentración de 1.10^{-4} M/l de P y para todas las concentraciones de P en general disminuye a medida que avanza el estado de desarrollo de la planta.

FLUJO DE Fe A TRAVES DE LA RAIZ

Los valores representativo del flujo de Fe a través de las raíces de las plantas de maíz, desarrolladas en un medio nutritivo en el que varia únicamente el contenido de P de 1.10^{-7} a 1.10^{-2} M/l, quedan reflejados en la tabla 32. Dichos valores están expresados en $\mu\text{g/g}$. fresco de raíz y por día.

De dichos valores se observa que a partir de que es visible el cuello de la 8ª hoja en general, el flujo es máximo para la concentración de 1.10^{-6} M/l de P, excepto en el periodo previo a la polinización, cuyo valor máximo en dicho periodo corresponde a la

TABLA 31.- Flujo de Mg a través de la raíz, en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Período de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- $\mu\text{g/g. día}$ -					
6 - 23	67	93	112	67	36	79
23 - 37	78	88	106	83	42	19
37 - 56	49	66	106	51	29	22
56 - 66	50	52	25	14	-5	-12
66 - 77	32	31	33	41	56	-1

TABLA 32.- Flujo de Fe a través de la raíz, en función de la concentración de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Período de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- $\mu\text{g/g. día}$ -					
6 - 23	36,39	19,20	20,97	21,74	28,07	28,58
23 - 37	1,35	7,49	7,00	4,59	21,43	0,29
37 - 56	19,85	9,80	12,35	13,04	27,67	54,50
56 - 66	20,24	8,70	10,45	8,48	27,03	17,52
66 - 77	39,12	35,81	16,87	26,54	63,98	-3,72

concentración de 1.10^{-7} M/l de P.

De la tabla 32 se deduce que el flujo de Fe tiende a ser mayor en el primero y último estado de desarrollo, objeto de estudio, excepto en el nivel de 1.10^{-7} M/l de P .

Del primer periodo al segundo presenta una disminución en el valor del flujo, siendo esta más acusada para las concentraciones de 1.10^{-7} y 1.10^{-2} M/l de P.

FLUJO DE Na, Mn, Zn A TRAVES DE LAS RAICES

Los valores representativos del flujo de Na, Mn y Zn a través de las raíces de las plantas de maiz desarrolladas en un medio nutritivo en el que varia únicamente el contenido de P de 1.10^{-7} a 1.10^{-2} M/l, quedan reflejados en las tablas 33, 34 y 35. Dichos valores están expresados en $\mu\text{g/g}$. fresco de raiz y por dia.

Respecto al flujo de Na se observa que es mayor en el primer periodo que en los sucesivos estados de desarrollo. El valor más elevado corresponde a la concentración de 1.10^{-2} M/l de P en la solución nutritiva. En el periodo siguiente, es decir entre que

TABLA 33.- Flujo de Na a través de la raíz, en función de las concentraciones de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Período de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- $\mu\text{g/g. día}$ -					
6 - 23	6,18	4,67	5,40	4,88	5,39	4,35
23 - 37	2,17	3,04	1,98	1,35	1,51	0,86
37 - 56	3,40	1,65	3,53	1,44	0,84	1,58
56 - 66	1,34	2,08	0,83	0,19	1,16	-1,10
66 - 77	2,68	0,44	0,21	1,70	1,05	0,33

es visible el cuello de la 8ª y el de la 12ª hoja, se observa una disminución del flujo de Na en todo el intervalo de concentraciones de P estudiado.

Por lo que se observa en la tabla 34, existen intervalos de concentraciones de P en los cuales el flujo de Mn tiende a aumentar a medida que progresa el desarrollo de la planta, mientras que en otros intervalos la tendencia es a disminuir. Así en el intervalo de 1.10^{-2} a 1.10^{-3} M/l de P la tendencia es aumentar aunque tienen un periodo de desarrollo de la planta en el cual disminuye, así para 1.10^{-2} M/l de P es en la etapa previa a la polinización y para 1.10^{-3} M/l de P es desde que es visible el cuello de la 12ª hoja hasta que se inicia la acumulación de materia seca en las semillas.

Por otra parte para la concentración de 1.10^{-4} M/l de P el flujo de Mn disminuye a lo largo de todo el ciclo de cultivo.

Por lo que respecta a la concentración de 1.10^{-5} M/l de P, presenta un valor muy elevado en el periodo entre que es visible el cuello de la 8ª y el de la 12ª hoja, produciéndose una disminución muy brusca en el periodo siguiente.

De los valores obtenidos en la tabla 35 se

TABLA 34.- Flujo de Mn a través de la raíz en función de las concentraciones de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Período de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- $\mu\text{g/g. día}$ -					
6 - 23	3,78	9,34	17,55	4,84	3,49	6,00
23 - 37	10,72	12,48	12,23	58,44	3,00	0,93
37 - 56	6,75	6,91	8,12	-4,65	2,15	1,48
56 - 66	12,17	3,59	8,11	0,01	-1,47	-1,35
66 - 77	14,32	22,95	7,05	12,08	2,94	-0,79

TABLA 35.- Flujo de Zn a través de la raíz, en función de las concentraciones de P en solución nutritiva a diferentes edades de la planta.

Período de la planta	Concentración de P (M/l) en sol. nutritiva					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
- Días -	- $\mu\text{g/g. día}$ -					
6 - 23	4,46	5,71	5,37	4,00	2,98	4,70
23 - 37	3,14	3,74	3,44	2,65	0,58	-0,18
37 - 56	1,74	6,75	1,88	1,57	1,35	1,20
56 - 66	2,50	1,09	0,49	0,46	-0,74	-0,33
66 - 77	2,98	5,41	1,16	1,90	0,94	-0,68

observa en todo el intervalo de concentraciones estudiado que el flujo de Zn disminuye del primer periodo al segundo.

Para las concentraciones de 1.10^{-5} y 1.10^{-4} M/l de P se observa la tendencia a disminuir el flujo de Zn hasta la etapa posterior a la polinización, pues en el último periodo aumenta el flujo de Zn .

4.2.- II EXPERIMENTO DE INVERNADERO

4.2.1.- ASPECTOS VISUALES

Una vez germinadas las plantas de maiz se trasplantan a los tiestos de cultivo (fig. 1), siendo todas ellas muy uniformes, no observandose diferencias en los primeros dias.

Por lo que respecta al sistema radicular, se observa un precipitado rójizo sobre algunas raices, aumentando este al disminuir la concentración de P y aumentar la de Fe. A medida que aumenta el desarrollo de la planta, el precipitado disminuye en los niveles elevados de P y aumenta en los niveles inferiores de P.

Al final del experimento comparando las raices de las plantas desarrolladas en las distintas concentraciones de P para una misma concentración de Fe (fotos 8,9 y 10), se observa el precipitado en la de mayor contenido de Fe para los niveles de 1.10^{-5} y 1.10^{-6} M/l de P, mientras que en los otros niveles de Fe el precipitado se observa solo en el de 1.10^{-6} M/l de P. Por otra parte en el nivel de 1.10^{-6} M/l de P se puede observar la diferencia del precipitado al

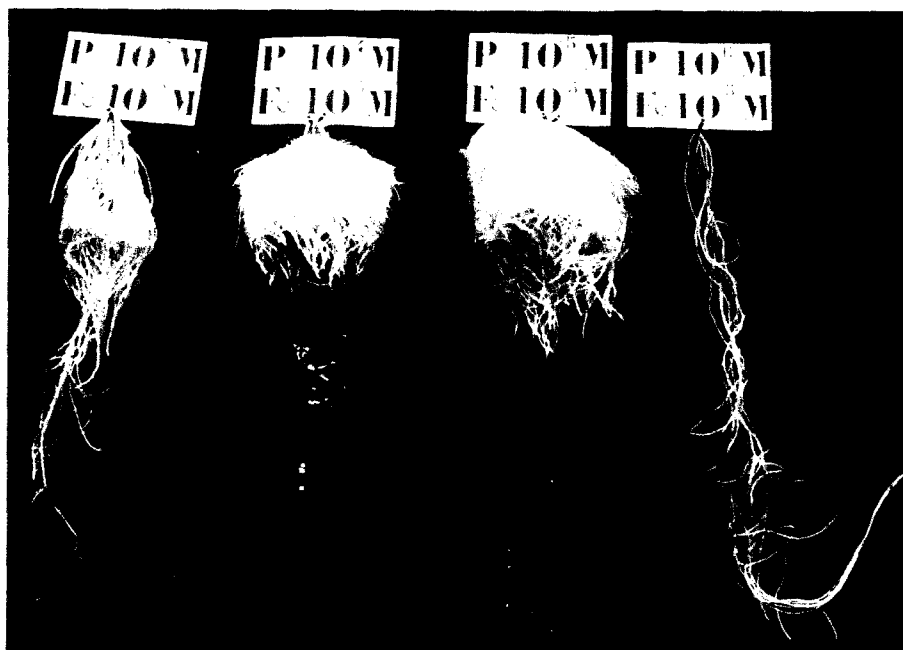


Foto 8.- Raíces de maíz cultivadas en sol.nutr. a distintas conc. de P y una conc. de Fe de $1 \cdot 10^{-5}$ M/l



Foto 9.- Raíces de maíz cultivadas en sol.nutr. a distintas conc. de P y una conc. de Fe de $2 \cdot 10^{-5}$ M/l



Foto 10.- Raíces de maíz cultivadas en sol. nutr. a distintas conc. de P y una conc. de Fe de $4 \cdot 10^{-5}$ m/l

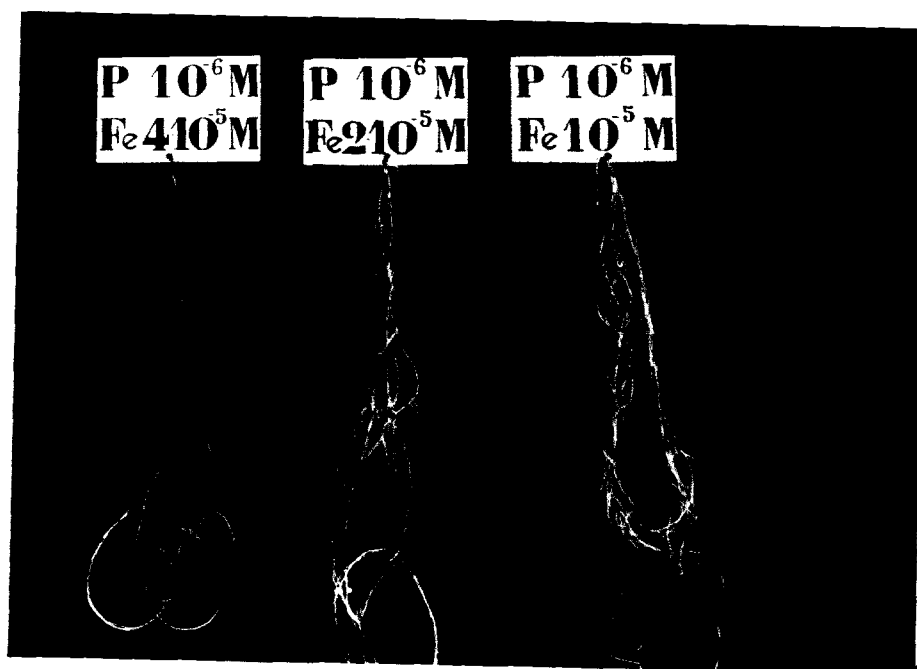


Foto 11.- Raíces de maíz cultivadas en sol. nutr. a distintas conc. de Fe y una conc. de P de $1 \cdot 10^{-6}$ m/l

variar el contenido de Fe (foto 11).

Por lo que respecta a la parte aérea, se observa como para el nivel de 1.10^{-6} M/l de P no continua el desarrollo de las plantas de maiz, quedandose practicamente estacionadas.

A los 22 días se observa unas rayas amarillas en las hojas cuyo nivel en P fué 1.10^{-3} M/l, iniciandose en la de 1.10^{-4} M/l, pero en estas últimas solo en el tratamiento cuya concentración en Fe es de 1.10^{-5} M/l. Sin embargo en el nivel de 1.10^{-3} M/l de P la de mayor concentración de Fe va disminuyendo sus síntomas cloróticos, así al final del experimento no se aprecian síntomas de clorosis, como puede observarse en las fotos 12, 13, 14, 15, 16 y 17.

Por lo que respecta al nivel de 1.10^{-5} M/l de P, las plantas presentan síntomas de deficiencia de P en las hojas, analogamente a los observados en el experimento anterior, siendo esta deficiencia mayor al aumentar el contenido de Fe en la solución nutritiva como puede verse en las fotos 18, 19 y 20.



Foto 12.- Hojas de maiz cultivadas en sol.nutr.
conteniendo 1.10^{-3} M/l de P y 4.10^{-5} M/l de Fe



Foto 13.- Hojas de maiz cultivadas en sol. nutr.
conteniendo 1.10^{-3} M/l de P y 2.10^{-5} M/l de Fe.

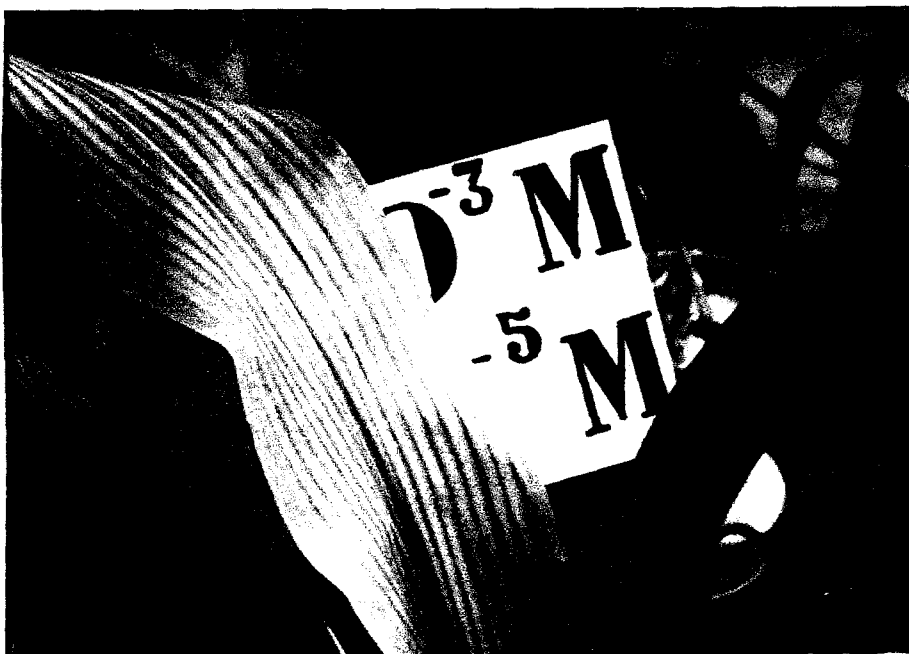


Foto 14.- Hojas de maiz cultivadas en sol. nutr. conteniendo $1 \cdot 10^{-3}$ m/l de P y $1 \cdot 10^{-5}$ m/l de Fe.



Foto 15.- Hojas de maiz cultivadas en sol. nutr. conteniendo $1 \cdot 10^{-4}$ m/l de P y $4 \cdot 10^{-5}$ m/l de Fe.



Foto 16.- Hojas de maiz cultivadas en sol. nutr. conteniendo $1 \cdot 10^{-4}$ m/l de P y $2 \cdot 10^{-5}$ m/l de Fe.



Foto 17.- Hojas de maiz cultivadas en sol. nutr. conteniendo $1 \cdot 10^{-4}$ m/l de P y 10^{-5} m/l de Fe.



Foto 18.- Hojas de maiz cultivadas en sol. nutr. conteniendo $1 \cdot 10^{-5}$ m/l de P y $4 \cdot 10^{-5}$ m/l de Fe.



Foto 19.- Hojas de maiz cultivadas en sol. nutr. conteniendo $1 \cdot 10^{-5}$ m/l de P y $2 \cdot 10^{-5}$ m/l de Fe.



Foto 20.- Hojas de maiz cultivadas en sol. nutr.
conteniendo 1.10^{-5} M/l de P y 1.10^{-5} M/l de Fe.

4.2.2.- DISTRIBUCION DE LA MATERIA SECA

El efecto de los tratamientos sobre el contenido en materia seca de la raiz, tallo y hojas aparece reflejado en las tablas 36, 37 y 38 respectivamente.

El máximo desarrollo corresponde a las plantas desarrolladas en una concentración de P de 1.10^{-4} M/l y de 4.10^{-5} M/l para el Fe. A niveles más altos de P el máximo corresponde a la misma concentración de Fe, mientras que a niveles de P inferiores el máximo corresponde a concentraciones de Fe también inferiores.

En la figura 5 se observa la relación entre la concentración de P y la materia seca de la planta entera para cada uno de los tres niveles de Fe en estudio.

Para los niveles de Fe de 4.10^{-5} M/l y 2.10^{-5} M/l presentan su máximo desarrollo a la concentración de 1.10^{-4} M/l de P, por el contrario en el nivel inferior de Fe (1.10^{-5} M/l), el máximo desarrollo lo presenta el nivel de 1.10^{-5} M/l de P.

TABLA 36.- Contenido de materia seca en raíz.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- Gr -		
1.10^{-3}	5,85a,b,c	3,30d,e	2,28e(※)
1.10^{-4}	7,08a	6,29a,b	3,18d,e
1.10^{-5}	4,45c,d	4,64b,c,d	6,30a,b
1.10^{-6}	0,35f	0,60f	0,40f

(※) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 37.- Contenido de materia seca en el tallo.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutrit. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- Gr -		
1.10^{-3}	13,28c	5,67d,e	2,60f,g(*)
1.10^{-4}	22,15a	17,13b	7,88d
1.10^{-5}	4,26e,f	6,04d,e	8,52d
1.10^{-6}	0,11g	0,23g	0,12g

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 38.- Contenido de materia seca en hojas.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutritiva M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- Gr -		
$1 \cdot 10^{-3}$	14,19a	7,42c	3,98e (*)
$1 \cdot 10^{-4}$	14,26a	13,72a	9,98b
$1 \cdot 10^{-5}$	5,05d,e	6,74c,d	8,70b,c
$1 \cdot 10^{-6}$	0,30f	0,49f	0,36f

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

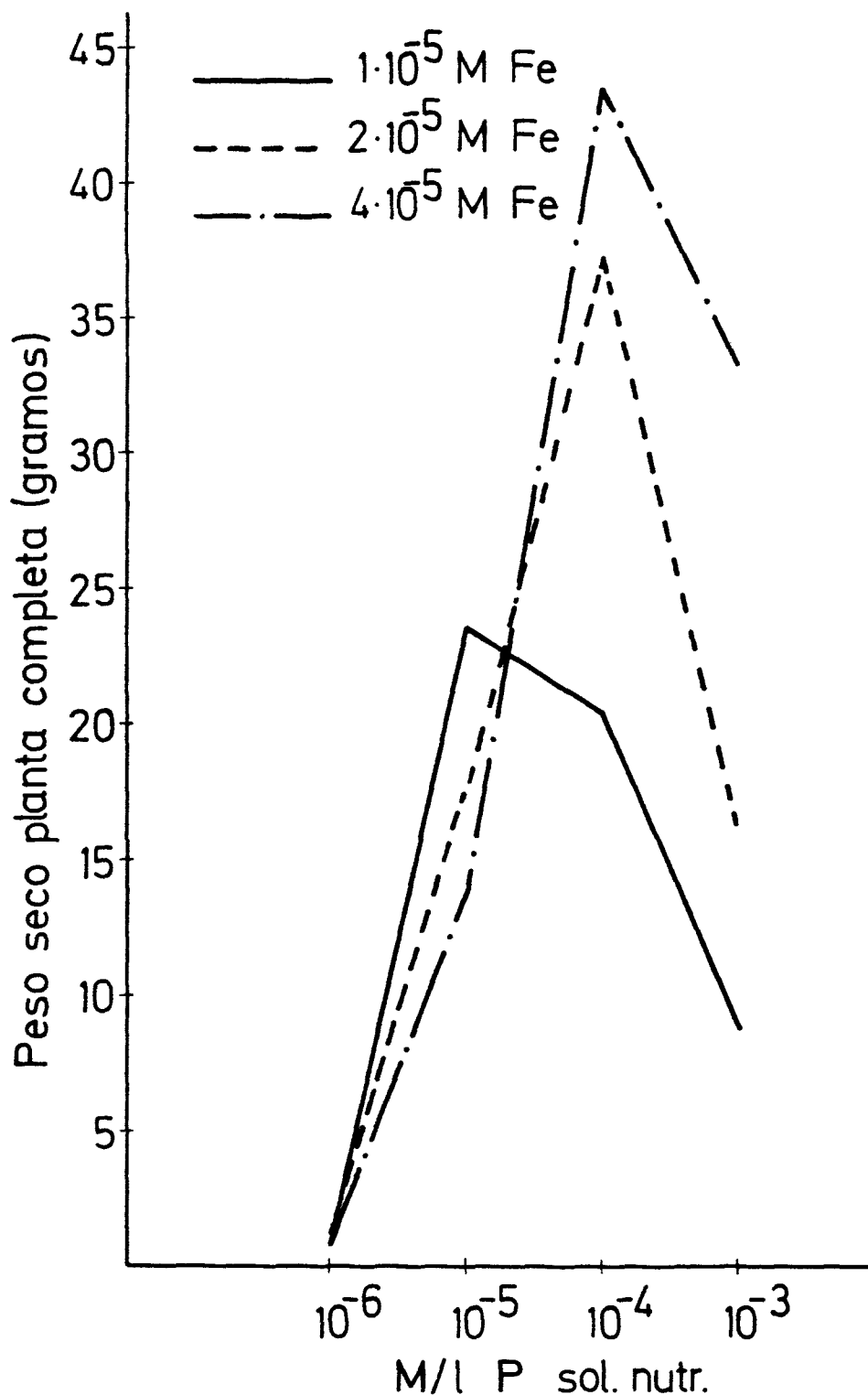


FIG.5 Relación entre la conc. de P sol. nutr. y el peso seco de la planta completa, para cada una de las conc. de Fe.

4.2.3.- DISTRIBUCION DEL CONTENIDO DE P EN LAS PLANTAS

El efecto de los tratamientos en la concentración de P en raíz, tallo y hojas, queda reflejado en las tablas 39, 40 y 41 respectivamente.

No se encontró una relación lineal entre la concentración de fosfato en la solución nutritiva y la cantidad que es absorbida por las plantas.

Cuando la concentración de P en el medio nutritivo aumenta de 1.10^{-6} a 1.10^{-5} M/l, este aumento no se traduce en un incremento en la cantidad de P absorbido por las plantas. Es a partir de 1.10^{-5} M/l de P en la solución nutritiva, cuando pudo observarse un incremento del contenido de P en los vegetales (raíz, tallo y hojas), al aumentar el contenido de P en la solución nutritiva (fig. 6,7 y 8).

Existen niveles de P en la solución nutritiva en los cuales al variar el contenido de Fe de dicha solución, permanece practicamente constante la concentración de P en las distintas partes de la planta; tal es el caso de las concentraciones de 1.10^{-6} M/l y 1.10^{-5} M/l de P.

Por el contrario en el nivel de 1.10^{-4} M/l de P tanto en la raíz como en el tallo, al disminuir la

TABLA 39.- Contenido de P en la raíz.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutri. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- ‰ -		
1.10^{-3}	1,32a	1,31a	1,37a(※)
1.10^{-4}	0,41c	0,43c	0,67b
1.10^{-5}	0,17d	0,17d	0,14d
1.10^{-6}	0,18d	0,13d	0,10d

(※) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 40.- Contenido de P en tallo.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutrit. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- % -		
1.10^{-3}	0,76c	0,83b	0,96a(*)
1.10^{-4}	0,24e,f	0,28e	0,44d
1.10^{-5}	0,12g	0,11g	0,11g
1.10^{-6}	0,16f,g	0,12g	0,14g

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 41.- Contenido de P en hojas.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- % -		
1.10^{-3}	0,65b	0,76b	0,92a(*)
1.10^{-4}	0,35c	0,34c	0,49c
1.10^{-5}	0,12d	0,10d	0,12d
1.10^{-6}	0,10d	0,08d	0,08d

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

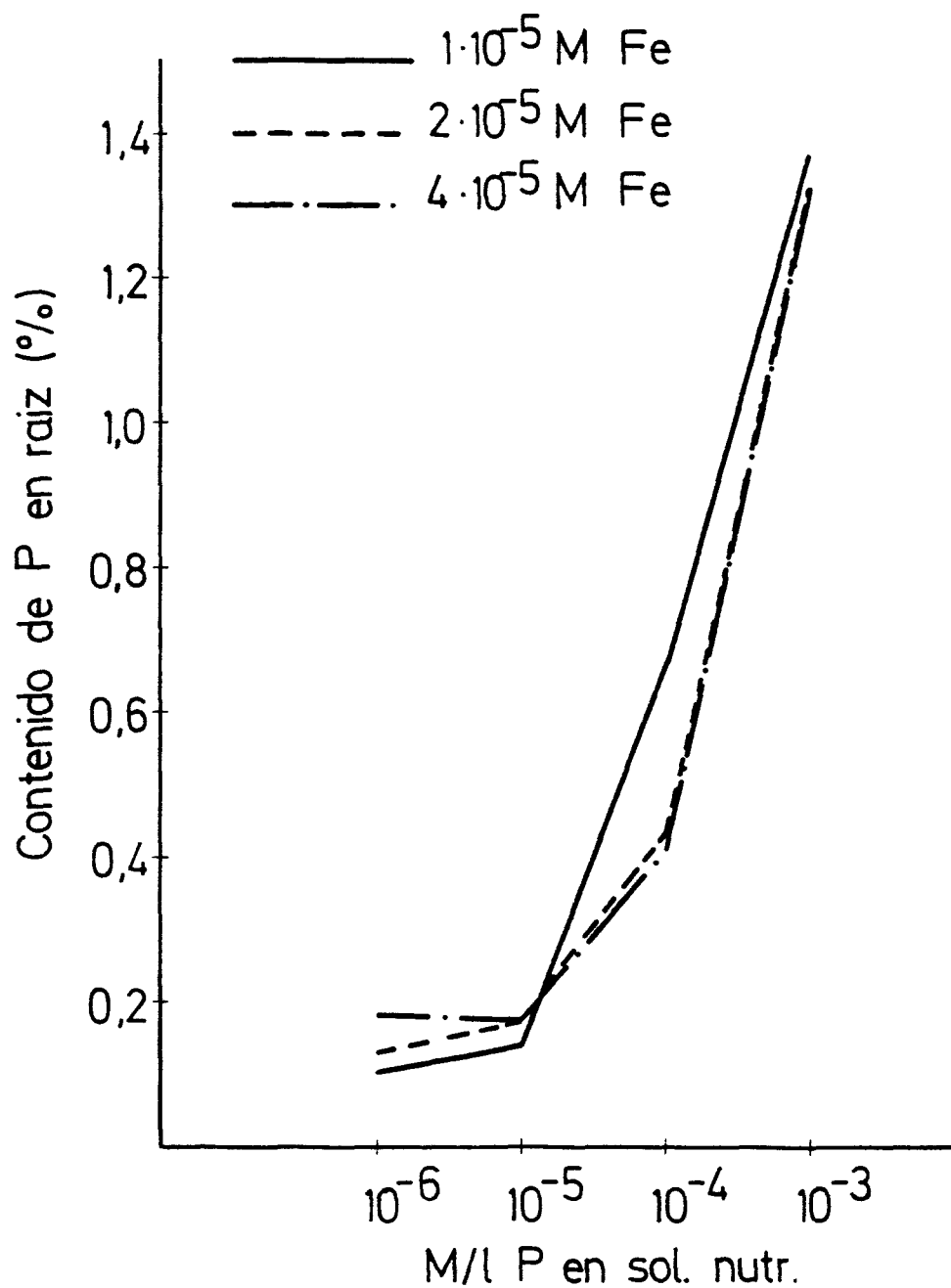


FIG. 6 Contenido de P en raíz

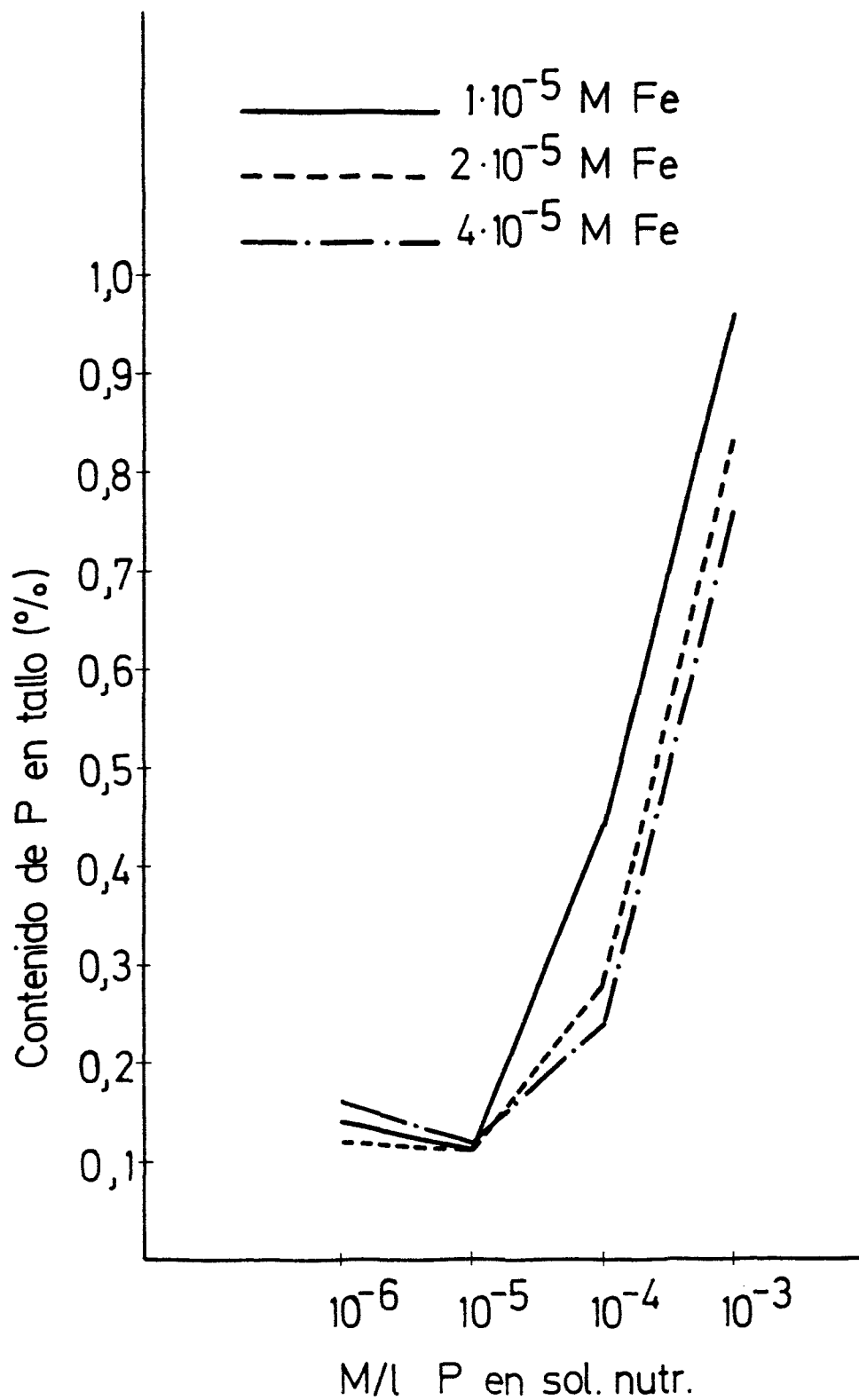


FIG. 7 Contenido de P en tallo

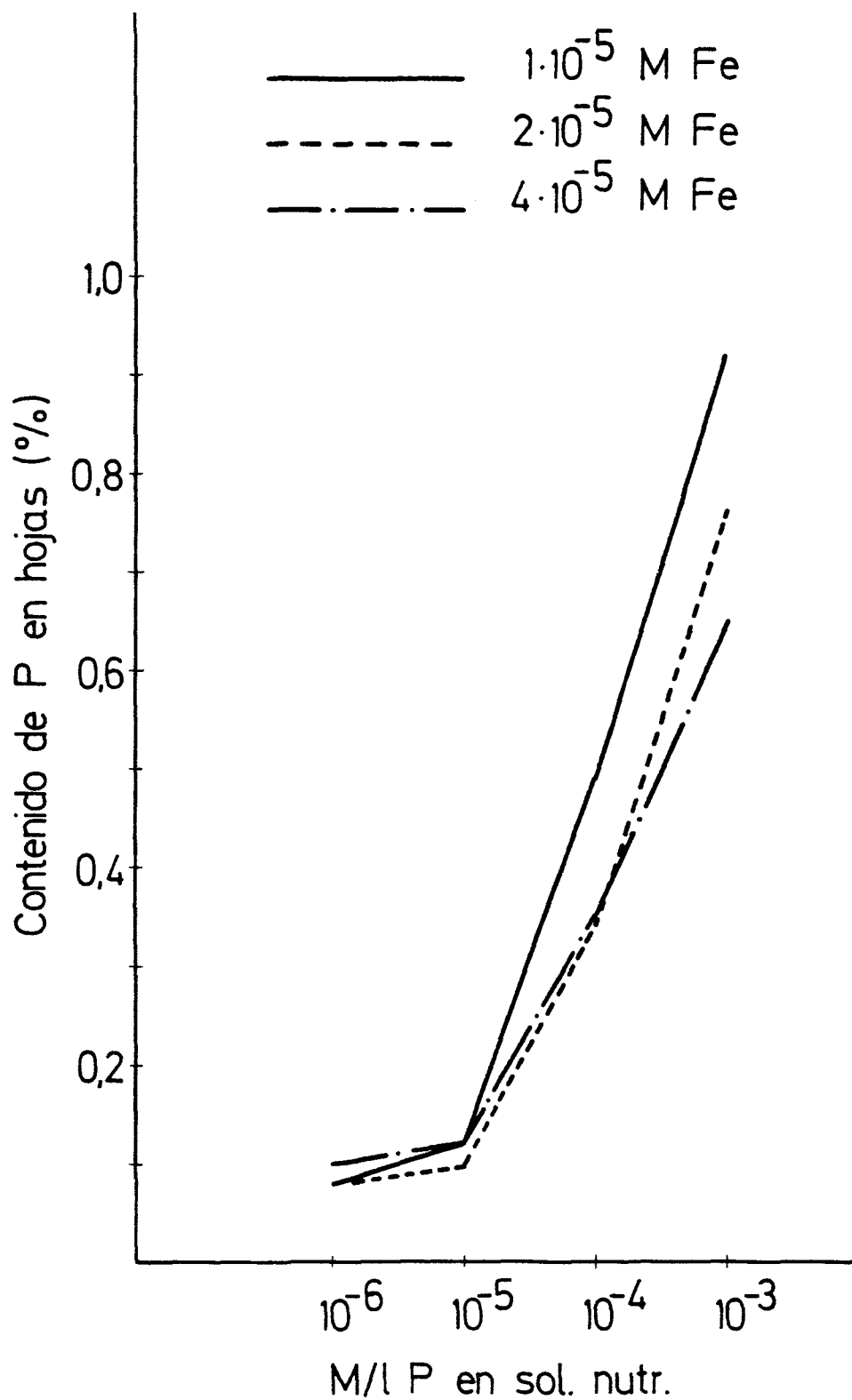


FIG. 8 Contenido de P en hojas

concentración de Fe en la solución nutritiva, aumenta la concentración de P en la materia vegetal.

Mientras que para el nivel de 1.10^{-3} M/l de P en la solución nutritiva, es el tallo y en las hojas donde se observa un aumento de contenido de P en la materia vegetal, cuando disminuye el contenido de Fe en la solución nutritiva.

Parece pues, que la presencia de elevados niveles de Fe en la solución dificulta de algún modo la traslocación del ión fosfato a las partes aéreas de la planta.

4.2.4.- DISTRIBUCION DEL CONTENIDO DE Fe EN LAS PLANTAS

El efecto de los tratamientos sobre el contenido de Fe en raiz, tallo y hojas quedan reflejados en las tablas 42, 43 y 44 respectivamente. Todos los valores son el promedio de tres repeticiones.

La concentración de Fe en las raices de las plantas es muy superior a la encontrada en las partes aéreas, este efecto se observa cualquiera que sea el nivel de P en la solución nutritiva.

El contenido de Fe en las raices presentan una gran acumulación en el nivel de 1.10^{-6} M/l de P, siendo esta más elevada cuanto mayor sea la concentración de Fe en la solución nutritiva.

Por lo que respecta a las partes aéreas podemos observar como en el tallo la concentración de Fe disminuye bruscamente cuando la concentración de P en la solución alcanza un nivel de 1.10^{-5} M/l; para niveles superiores de P, un aumento en el nivel de Fe en la solución, no se traduce en una mayor concentración de dicho nutriente en los tallos.

Un efecto análogo se observa en las hojas, si bien la disminución que se produce en el contenido de Fe al alcanzar la solución nutritiva el valor de 1.10^{-5} M/l de P, es menos acusada que en el tallo.

TABLA 42.- Contenido de Fe en la raíz.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutrit. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- mg/g -		
$1 \cdot 10^{-3}$	4,67c	3,23c	2,56c(*)
$1 \cdot 10^{-4}$	3,07c	2,07c	1,72c
$1 \cdot 10^{-5}$	5,17c	3,70c	1,33c
$1 \cdot 10^{-6}$	32,55a	12,00b	4,40c

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 43.- Contenido de Fe en tallo.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutrit. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- ppm -		
1.10^{-3}	60e,f,g	47h	62e,f(※)
1.10^{-4}	50g,h	53f,g,h	65e
1.10^{-5}	82d	78d	38i
1.10^{-6}	625a	325b	150c

(※) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 44.- Contenido de Fe en hojas.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutrit. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- ppm -		
1.10^{-3}	97d,e	87e	80e(※)
1.10^{-4}	117c,d	120c,d	128c
1.10^{-5}	120c,d	98d,e	95d,e
1.10^{-6}	337a	283b	290b

(※) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

4.2.5.- DISTRIBUCION DE N, K, Ca, Mg EN LAS PLANTAS

DISTRIBUCION DEL CONTENIDO DE N EN LAS PLANTAS

El efecto de los tratamientos sobre el contenido de N en raiz, tallo y hojas queda reflejado en las tablas 45, 46 y 47 respectivamente. Todos los valores son un promedio de tres repeticiones.

El contenido de N en raiz, tallo y hojas experimenta una disminuci3n a medida que disminuye el contenido de P en la soluci3n nutritiva.

No se observan diferencias significativas al variar el contenido de Fe en soluci3n nutritiva, para un mismo valor de P en dicha soluci3n, excepto en el nivel de 1.10^{-3} M/l de P, que se observa una disminuci3n del contenido de N, cuando se pasa de una concentraci3n de 2.10^{-5} M/l de Fe a 1.10^{-5} M/l de Fe.

DISTRIBUCION DEL CONTENIDO DE K EN LAS PLANTAS

El efecto de los tratamientos sobre el contenido de K en raiz, tallo y hojas queda reflejado en las tablas 48, 49 y 50 respectivamente. Todos los valores son un promedio de tres repeticiones.

TABLA 45.- Contenido de N en raíz.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- % -		
$1 \cdot 10^{-3}$	4,37a,b	4,70a(*)	3,37b,c,d
$1 \cdot 10^{-4}$	3,57a,b,c,d	4,17a,b,c	3,13b,c,d,e
$1 \cdot 10^{-5}$	2,50d,e	3,00c,d,e	2,60d,e
$1 \cdot 10^{-6}$	-	2,20d,e	1,90e

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 46.- Contenido de N en tallo.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- % -		
$1 \cdot 10^{-3}$	3,93a	4,10a	3,40a,b(※)
$1 \cdot 10^{-4}$	2,80b,c,d	2,70b,c,d	2,97b,c
$1 \cdot 10^{-5}$	2,23c,d,e	2,03d,e	1,67e
$1 \cdot 10^{-6}$	-	-	2,30c,d,e

(※) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 47.- Contenido de N en las hojas.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- % -		
1.10^{-3}	4,10a,b	4,37a	3,70b,c(⌘)
1.10^{-4}	3,37c	3,83a,b,c	3,40c
1.10^{-5}	2,60d	2,73d	2,60d
1.10^{-6}	-	2,70d	2,40d

(⌘) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 48.- Contenido de K en raíz.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- % -		
1.10^{-3}	6,63a,b	6,73a,b	7,23a (x)
1.10^{-4}	4,11c	5,77a,b,c	7,00a
1.10^{-5}	3,77c	5,60a,b,c	5,00b,c
1.10^{-6}	3,80c	3,83c	3,80c

(x) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 49.- Contenido de K en el tallo.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- % -		
$1 \cdot 10^{-3}$	8,57b,c	8,93b	10,10a (x)
$1 \cdot 10^{-4}$	6,13d	6,33d	7,60c
$1 \cdot 10^{-5}$	5,53d,e	6,37d	4,83e
$1 \cdot 10^{-6}$	8,50b,c	8,07b,c	7,50c

(x) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 50.- Contenido de K en hojas.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en la sol. nutr. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
+ M/l -	- % -		
1.10^{-3}	5,13c,d,e 5,73a,b,c,d 6,43a (*)		
1.10^{-4}	3,70g	4,37e,f,g	5,37b,c,d
1.10^{-5}	5,13c,d,e	4,77d,e,f	4,03f,g
1.10^{-6}	6,23a,b	5,50a,b,c,d	6,00a,b,c

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

En la raíz se observa que para una concentración fija de Fe en solución nutritiva, el contenido de K disminuye al disminuir la concentración de P en solución nutritiva.

El contenido de K en el tallo presenta un valor máximo para cada concentración de Fe que corresponde siempre a la solución nutritiva más concentrada en P (1.10^{-3} M/l), y entre ellos el valor más alto corresponde a la concentración de Fe menor de las empleadas (1.10^{-5} M/l de Fe). Los valores más bajos de K corresponden a la solución nutritiva con 1.10^{-5} M/l de P y también el mínimo de entre ellos pertenece a la concentración de Fe menor (1.10^{-5} M/l).

Por lo que respecta a las hojas se observa que en los niveles de 1.10^{-3} y 1.10^{-4} M/l de P en la solución nutritiva, el contenido de K en las hojas aumenta cuando disminuye la concentración de Fe en la solución nutritiva, mientras que en el nivel de 1.10^{-5} M/l de P sucede lo contrario, es decir, disminuye el contenido de K en hojas cuando disminuye la concentración de Fe.

DISTRIBUCION DEL CONTENIDO DE Ca EN LAS PLANTAS

El efecto de los tratamientos sobre el contenido de Ca en raiz, tallo y hojas queda reflejado en las tablas 51, 52 y 53 respectivamente. Todos los valores son el promedio de tres repeticiones.

En lo que se refiere a la raiz no existe ninguna diferencia significativa entre los tratamientos estudiados en este experimento.

Por lo que respecta al tallo, se observa que aumenta su contenido en Ca, cuando disminuye la concentración de P en la solución nutritiva, para los niveles de $4 \cdot 10^{-5}$ y $2 \cdot 10^{-5}$ M/l de Fe, pues en el nivel inferior de Fe ($1 \cdot 10^{-5}$ M/l), los valores más altos en el contenido de Ca se presentan en los niveles extremos de P.

En el nivel de P de $1 \cdot 10^{-3}$ M/l el contenido de Ca en el tallo aumenta al disminuir la dosis de Fe, por el contrario en los niveles de $1 \cdot 10^{-6}$ y $1 \cdot 10^{-5}$ M/l de P, el contenido de Ca en el tallo disminuye cuando disminuye la dosis de Fe, y en el nivel de $1 \cdot 10^{-4}$ M/l de P, no se aprecian cambios al variar el contenido de Fe en la solución nutritiva.

Por lo que respecta a las hojas el contenido

TABLA 51.- Contenido de Ca en la raíz.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en la sol. nutr. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- % -		
$1 \cdot 10^{-3}$	0,73	0,71	0,64
$1 \cdot 10^{-4}$	0,70	0,52	0,63
$1 \cdot 10^{-5}$	0,51	0,50	0,47
$1 \cdot 10^{-6}$	0,74	0,60	0,64

TABLA 52.- Contenido de Ca en el tallo.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- % -		
1.10^{-3}	0,19f	0,23f	0,49c,d(⌘)
1.10^{-4}	0,25f	0,17f	0,23f
1.10^{-5}	0,42d,e	0,33e	0,24f
1.10^{-6}	1,05a	0,62b	0,60b,c

(⌘) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 53.- Contenido de Ca en hojas.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- % -		
1.10^{-3}	0,43c	0,41c	0,54b,c(*)
1.10^{-4}	0,53b,c	0,40c	0,38c
1.10^{-5}	0,55b,c	0,45c	0,43c
1.10^{-6}	0,89a	0,63b	0,83a

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

en Ca en general aumenta al disminuir el nivel de P en la solución nutritiva.

DISTRIBUCION DEL CONTENIDO DE Mg EN PLANTAS

El efecto de los tratamientos sobre el contenido de Mg en raíz, tallo y hojas quedan reflejados en las tablas 54, 55 y 56 respectivamente. Todos los valores son el promedio de tres repeticiones.

El contenido de Mg en la raíz no presenta diferencias significativas respecto a los tratamientos estudiados en este experimento.

Por lo que respecta al tallo el mayor contenido de Mg lo presenta el nivel de 1.10^{-6} M/l de P, es decir el más bajo en P, para todas las concentraciones de Fe. Para los de 1.10^{-5} y 1.10^{-4} M/l de P no se observan diferencias al variar el contenido de Fe en la solución nutritiva, mientras que en el nivel de 1.10^{-3} M/l de P aumenta el contenido de Mg en el tallo al disminuir el contenido de Fe en la solución nutritiva, por el contrario en el nivel de 1.10^{-6} M/l de P disminuye el contenido en Mg al disminuir el contenido de Fe en dicha solución.

Respecto al contenido de Mg en las hojas es más

TABLA 54.- Contenido de Mg en la raíz.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- % -		
$1 \cdot 10^{-3}$	0,51	0,53	0,61
$1 \cdot 10^{-4}$	0,45	0,35	0,50
$1 \cdot 10^{-5}$	0,39	0,33	0,41
$1 \cdot 10^{-6}$	0,39	0,35	0,44

TABLA 55.- Contenido de Mg en el tallo.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. Nutr. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- % -		
$1 \cdot 10^{-3}$	0,25c,d	0,31c	0,41b(*)
$1 \cdot 10^{-4}$	0,25c,d	0,19d	0,26c,d
$1 \cdot 10^{-5}$	0,26c,d	0,25c,d	0,22c,d
$1 \cdot 10^{-6}$	0,67a	0,60a	0,45b

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel del 5% de probabilidad.

TABLA 56.- Contenido de Mg en hojas.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- % -		
$1 \cdot 10^{-3}$	0,26d,e	0,28c,d,e	0,32c,d(※)
$1 \cdot 10^{-4}$	0,25d,e	0,20e	0,26d,e
$1 \cdot 10^{-5}$	0,24d,e	0,22e	0,21e
$1 \cdot 10^{-6}$	0,47a	0,36b,c	0,41a,b

(※) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

elevado cuando en la solución nutritiva la concentración de P es de 1.10^{-6} M/l, sin que puedan ser observadas diferencias significativas para las concentraciones restantes.

4.2.6.- DISTRIBUCION DE Mn, Zn EN LAS PLANTAS

DISTRIBUCION DEL CONTENIDO DE Mn EN PLANTAS

El efecto de los tratamientos sobre el contenido de Mn en la raiz, tallo y hojas queda reflejado en las tablas 57, 58 y 59 respectivamente. Todos los valores son un promedio de tres repeticiones.

El contenido de Mn en la raiz disminuye cuando desciende el contenido de P en la solución nutritiva.

Respecto al tallo la concentración de 1.10^{-3} M/l de P, presenta diferencias cuando se varia la concentración de Fe, siendo la concentración de 1.10^{-5} M/l de Fe la que presenta el máximo contenido de Mn en el tallo.

Por lo que respecta a las hojas el máximo contenido de Mn lo presenta el mismo tratamiento que en el tallo, es decir, para una concentración de 1.10^{-3} M/l de P y 1.10^{-5} M/l de Fe. Mientras que en el nivel de 1.10^{-5} M/l de P, el contenido en Mn disminuye cuando disminuye la concentración de Fe de la solución nutritiva.

TABLA 57.- Contenido de Mn en raíz.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutrit. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- ppm -		
1.10^{-3}	2833a (x)	2367b,c	2117c
1.10^{-4}	1367d	1400d	2600a,b
1.10^{-5}	1250d	850e	482f
1.10^{-6}	292f,g	250f,g	220g

(x) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 58.- Contenido de Mn en tallo.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutrit. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- ppm -		
$1 \cdot 10^{-3}$	137b	110c	197a (*)
$1 \cdot 10^{-4}$	62f,g	57g	75e
$1 \cdot 10^{-5}$	88d	70e,f	63f,g
$1 \cdot 10^{-6}$	100c	75e	100c

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 59.- Contenido de Mn en hojas.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutrit. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- ppm -		
1.10^{-3}	265b	233b,c	320a (*)
1.10^{-4}	165d,e,f	153e,f,g	165d,e,f
1.10^{-5}	167d,e,f	108f,g	98,g
1.10^{-6}	238b,c	192c,d,e	220b,c,d

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

DISTRIBUCION DEL CONTENIDO DE Zn EN PLANTAS

El efecto de los tratamientos sobre el contenido de Zn en la raiz, tallo y hojas quedan reflejados en las tablas 60, 61 y 62 respectivamente. Todos los valores son un promedio de tres repeticiones.

El contenido de Zn en la raiz aumenta en los niveles de 1.10^{-3} , 1.10^{-4} y 1.10^{-5} M/l de P, cuando disminuye la concentración de Fe en la solución nutritiva, mientras que en el nivel de 1.10^{-6} M/l de P disminuye al disminuir el contenido de Fe en el medio de cultivo.

Respecto al tallo, el contenido de Zn más elevado lo presenta el nivel de 1.10^{-6} M/l de P, en los tres niveles de Fe. Para un nivel de P el contenido de Zn aumenta al disminuir la concentración de Fe de la solución nutritiva, excepto para el nivel de 1.10^{-5} M/l de P en el cual permanece prácticamente invariable.

El máximo contenido de Zn en las hojas lo presenta el tratamiento de una concentración de 1.10^{-3} M/l de P y 1.10^{-5} M/l de Fe, siendo este nivel de P en el que se observa un mayor contenido de Zn al disminuir la concentración de Fe en el medio nutritivo.

TABLA 60.- Contenido de Zn en raíz

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- ppm -		
1.10^{-3}	115d	193b	250a (*)
1.10^{-4}	110d	113d	207b
1.10^{-5}	117d	163c	167c
1.10^{-6}	185b,c	162c	110d

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 61.- Contenido de Zn en tallos.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- ppm -		
1.10^{-3}	68e	107d	218c (*)
1.10^{-4}	48f	70e	112d
1.10^{-5}	98d	97d	87d,e
1.10^{-6}	300b	283b	350a

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 62.- Contenido de Zn en hojas.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutrit. M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
- M/l -	- ppm -		
1.10^{-3}	63 e,f	103 d	243 a (x)
1.10^{-4}	57 f	80 e	102 d
1.10^{-5}	77 e	77 e	77 e
1.10^{-6}	153 b	125 c	110 c,d

(x) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

4.3.- III EXPERIMENTO DE INVERNADERO

4.3.1.- ASPECTOS VISUALES

Una vez germinadas las plantas de maiz se trasplantan a los tiestos de cultivo (fig.1), siendo todas ellas muy uniformes.

En los dos niveles más altos de P ($1,2 \cdot 10^{-4}$ y $1,0 \cdot 10^{-4}$ M/l), en las de menor contenido de Fe se van distinguiendo dos tonalidades en las hojas; al avanzar el estado de desarrollo, el verde claro va pasando a amarillento, esto tiene lugar con la salida de la 6ª hoja.

Los síntomas de clorosis continúan, pero cuando sale la 8ª hoja se observa un reverdecimiento general de las plantas.

Cuando se inicia la salida de la 7ª hoja se observa una deficiencia de P en el tallo y en el borde de las hojas, de las plantas desarrolladas en el nivel de $1 \cdot 10^{-5}$ M/l de P. En este nivel de P, los síntomas de deficiencia varían con los niveles de Fe, así las desarrolladas en una solución nutritiva cuyo valor de Fe es el mínimo no presentan los síntomas de deficiencia en el tallo, mientras que cuando el

nivel de Fe es de 2.10^{-5} M/l los tallos presentan síntomas de deficiencia, y al aumentar más el nivel de Fe, es decir 4.10^{-5} M/l, llega incluso a presentar los síntomas de deficiencia de P las hojas viejas, debido a la gran movilidad de este nutriente, es decir presentan elementos antociánicos en el nervio principal de las hojas. Así en la foto 21 se observa el diferente desarrollo de las plantas para el nivel de 1.10^{-5} M/l de P cuando se varia la concentración de Fe.

Por lo que respecta al sistema radicular, la observación del precitado es análoga a los experimentos anteriores (fotos 22,23 y 24).

En la foto 25 se observa una vista general de este experimento.

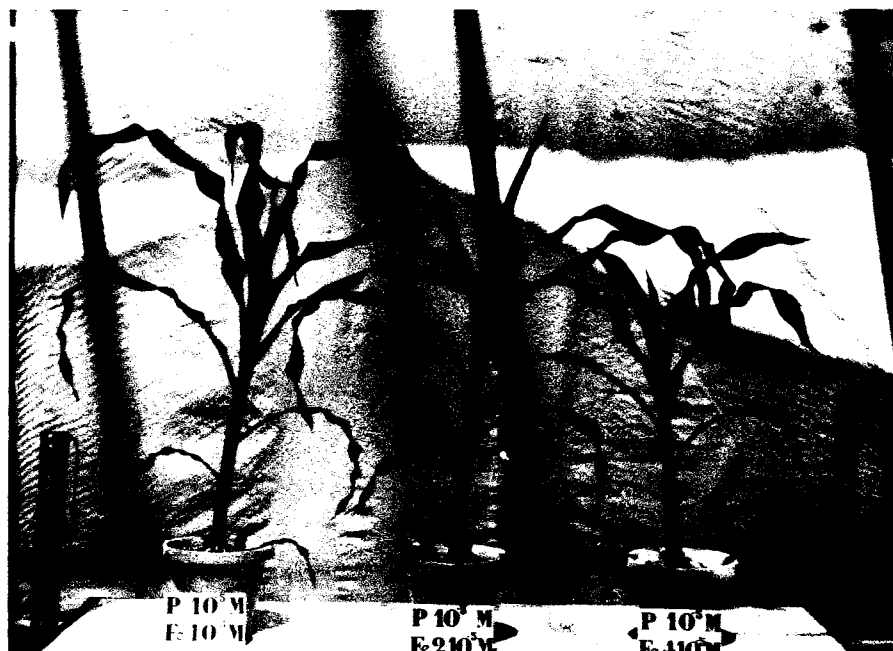


Foto 21.- Plantas de maiz cultivadas en sol. nutr. a una conc. de $1 \cdot 10^{-5}$ M/l de P y diversas conc. de Fe.



Foto 22.- Raices de maiz cultivadas en sol. nutr. a distintas conc. de P y una conc. de $4 \cdot 10^{-5}$ M/l de Fe.

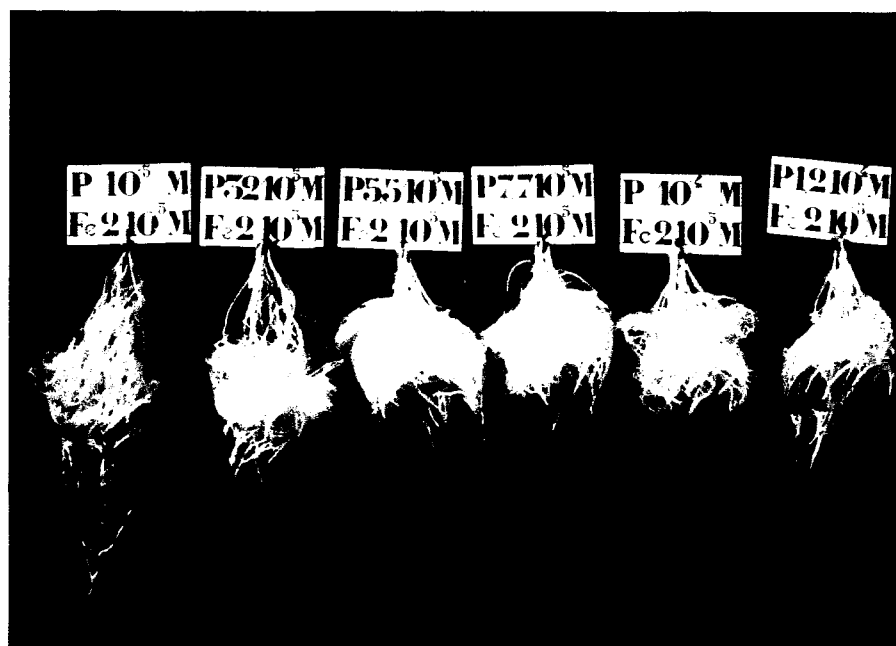


Foto 23.- Raíces de maiz cultivadas en sol. nutr. a distintas conc. de P y una conc. de 2.10^{-5} M/l de Fe.



Foto 24.- Raíces de maiz cultivadas en sol. nutr. a distintas conc. de P y una conc. de 1.10^{-5} M/l de Fe.



Foto 25.- Vista general del III experimento.

4.3.2.- RENDIMIENTO EN MATERIA SECA

El efecto de los tratamientos sobre materia seca en raíz, tallo y hojas queda reflejado en las tablas 63, 64 y 65 respectivamente. Todos los valores son un promedio de tres repeticiones.

En la materia seca se observa que para cada nivel de Fe le corresponde el máximo rendimiento a un nivel de P diferente. Esto se observa más acusado en la raíz y tallo, siendo las diferencias del peso seco de las hojas menores.

En el sistema radicular el mayor o menor rendimiento está ligado a las concentraciones de P y Fe, así en la concentración de $1,0 \cdot 10^{-5}$ M/l de P el menor rendimiento radicular es para la concentración de Fe de $4,0 \cdot 10^{-5}$ M/l, mientras que, para mayores concentraciones de P el menor rendimiento corresponde a la menor concentración de Fe, es decir $1,0 \cdot 10^{-5}$ M/l.

En este último nivel de $1,0 \cdot 10^{-5}$ M/l de Fe el máximo desarrollo radicular corresponde a $3,2 \cdot 10^{-5}$ M/l de P, para el de $2,0 \cdot 10^{-5}$ M/l de Fe es $5,5 \cdot 10^{-5}$ M/l de P, y para $4,0 \cdot 10^{-5}$ M/l de Fe es $7,7 \cdot 10^{-5}$ M/l de P. Es decir, cuanto más alta es la dosis de Fe necesita una concentración de P mayor para obtener

TABLA 63.- Contenido de materia seca en raíz.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- gr -		
$1,2 \cdot 10^{-4}$	5,37c,d	2,97f,g	2,62g(⌘)
$1,0 \cdot 10^{-4}$	4,22d,e	4,26d,e	2,58g
$7,7 \cdot 10^{-5}$	7,66a	4,52d,e	3,88e,f,g
$5,5 \cdot 10^{-5}$	6,50b	6,67a,b	3,84e,f
$3,2 \cdot 10^{-5}$	5,72b,c	4,67c,d,e	4,93c,d
$1,0 \cdot 10^{-5}$	2,68g	3,71e,f	3,83e,f

(⌘) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 64.- Contenido de materia seca en tallo.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- gr -		
$1,2 \cdot 10^{-4}$	10,53b	5,73e,f	4,70f,g(※)
$1,0 \cdot 10^{-4}$	9,27c	10,25b,c	3,25h,i
$7,7 \cdot 10^{-5}$	15,09a	9,14c	6,53d,e
$5,5 \cdot 10^{-5}$	10,72b	10,87b	5,72e,f
$3,2 \cdot 10^{-5}$	10,63b	7,35d	7,43d
$1,0 \cdot 10^{-5}$	2,23i	3,74g,h	4,61f,g

(※) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 65.- Contenido de materia seca en hojas.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- gr -		
$1,2 \cdot 10^{-4}$	13,32a	8,42f,g	7,28g,h(*)
$1,0 \cdot 10^{-4}$	12,69a,b	12,23a,b,c	6,69h
$7,7 \cdot 10^{-5}$	13,44a	11,52b,c,d	10,26d,e
$5,5 \cdot 10^{-5}$	12,22a,b,c	12,75a,b	9,00e,f
$3,2 \cdot 10^{-5}$	12,16a,b,c	12,01a,b,c	10,87c,d
$1,0 \cdot 10^{-5}$	3,42j	4,85i	6,15h

(*) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

el máximo rendimiento radicular.

Por lo que respecta a la parte aérea se observa que en el nivel de $4,0 \cdot 10^{-5}$ M/l de Fe el máximo contenido en materia seca es para la concentración de $7,7 \cdot 10^{-5}$ M/l, mientras que en el nivel de $2,0 \cdot 10^{-5}$ M/l de Fe no se aprecia un máximo tan claro correspondiendo este valor a la zona entre $5,5 \cdot 10^{-5}$ y $1,0 \cdot 10^{-4}$ M/l de P, y por último en el nivel de $1,0 \cdot 10^{-5}$ M/l de Fe, el máximo lo presenta $3,2 \cdot 10^{-5}$ M/l de P.

En el peso seco de la planta completa se observa con mayor claridad el máximo desarrollo del maíz, para cada nivel de Fe empleado en la solución nutritiva, que como puede verse (tabla 66) corresponden a los mismos niveles de P que en la raíz y parte aérea, como era de esperar.

TABLA 66.- Contenido de materia seca en planta completa.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutr. M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- M/l -	- gr -		
$1,2 \cdot 10^{-4}$	29,22	17,12	14,60
$1,0 \cdot 10^{-4}$	26,18	26,74	12,52
$7,7 \cdot 10^{-5}$	36,19	25,18	20,67
$5,5 \cdot 10^{-5}$	29,44	30,29	18,56
$3,2 \cdot 10^{-5}$	28,51	24,03	23,23
$1,0 \cdot 10^{-5}$	8,33	12,30	14,59

4.3.3.- DISTRIBUCION DEL CONTENIDO DE P

El efecto de los tratamientos en la concentración de P en raíz, tallo y hojas quedan reflejados en las tablas 67,68 y 69 respectivamente. Todos los valores son el promedio de tres repeticiones.

El contenido de P tanto en raíz como en tallo y hojas disminuye con la concentración de P en la solución nutritiva.

Por lo que respecta a la raíz el contenido de P en la materia vegetal para los niveles de $1,2 \cdot 10^{-4}$ y $1,0 \cdot 10^{-4}$ M/l de P en la solución nutritiva, aumenta al disminuir la concentración de Fe en la solución anteriormente mencionada (fig. 9). La misma tendencia pero no tan definida se observa en los restantes niveles de P. Mientras que en el tallo este efecto se pone de manifiesto, en un mayor número de concentraciones de P que en la raíz, es decir sucede cuando la concentración está comprendida entre $1,2 \cdot 10^{-4}$ y $5,5 \cdot 10^{-5}$ M/l de P, ambos inclusive (fig.10).

Por lo que respecta a las hojas en todos los niveles de P comprendidos entre $1,2 \cdot 10^{-4}$ y $5,5 \cdot 10^{-5}$ M/l se cumple el efecto considerado (fig.11).

TABLA 67.- Contenido de P en raíz.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutritiva M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
M/l	- ‰ -		
$1,2 \cdot 10^{-4}$	0,34c,d,e	0,40b,c	0,58a (x)
$1,0 \cdot 10^{-4}$	0,35c,d,e	0,39b,c,d	0,50a,b
$7,7 \cdot 10^{-5}$	0,24e,f	0,22e,f,g	0,28c,d,e,f
$5,5 \cdot 10^{-5}$	0,19f,g,h	0,20f,g,h	0,26d,e,f
$3,2 \cdot 10^{-5}$	0,15f,g,h	0,15f,g,h	0,16f,g,h
$1,0 \cdot 10^{-5}$	0,09g,h	0,08h	0,09g,h

(x) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 68.- Contenido de P en tallo.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutritiva M/l		
	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
M/l	- % -		
$1,2 \cdot 10^{-4}$	0,37d,e,f	0,61c	0,80a (x)
$1,0 \cdot 10^{-4}$	0,40d,e	0,44d	0,74b
$7,7 \cdot 10^{-5}$	0,21g	0,30f	0,38d,e,f
$5,5 \cdot 10^{-5}$	0,17g,h	0,21g	0,33e,f
$3,2 \cdot 10^{-5}$	0,12g,h	0,13g,h	0,15g,h
$1,0 \cdot 10^{-5}$	0,12g,h	0,10h	0,13g,h

(x) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

TABLA 69.- Contenido de P en hojas.

Concentración de P en solución nutritiva	Conc. de Fe en sol. nutritiva M/l		
	4.10^{-5}	2.10^{-5}	1.10^{-5}
M/l	- % -		
$1,2.10^{-4}$	0,34c,d	0,48b	0,56a (x)
$1,0.10^{-4}$	0,37b,c	0,37b,c	0,52a
$7,7.10^{-5}$	0,26c,d,e,f	0,30c,d,e	0,38b,c
$5,5.10^{-5}$	0,18e,f,g	0,23d,e,f	0,32c,d
$3,2.10^{-5}$	0,14f,g	0,17e,f,g	0,17e,f,g
$1,0.10^{-5}$	0,08g	0,08g	0,09g

(x) Cada dos medias no seguidas de una misma letra, son significativamente diferentes al nivel 5% de probabilidad.

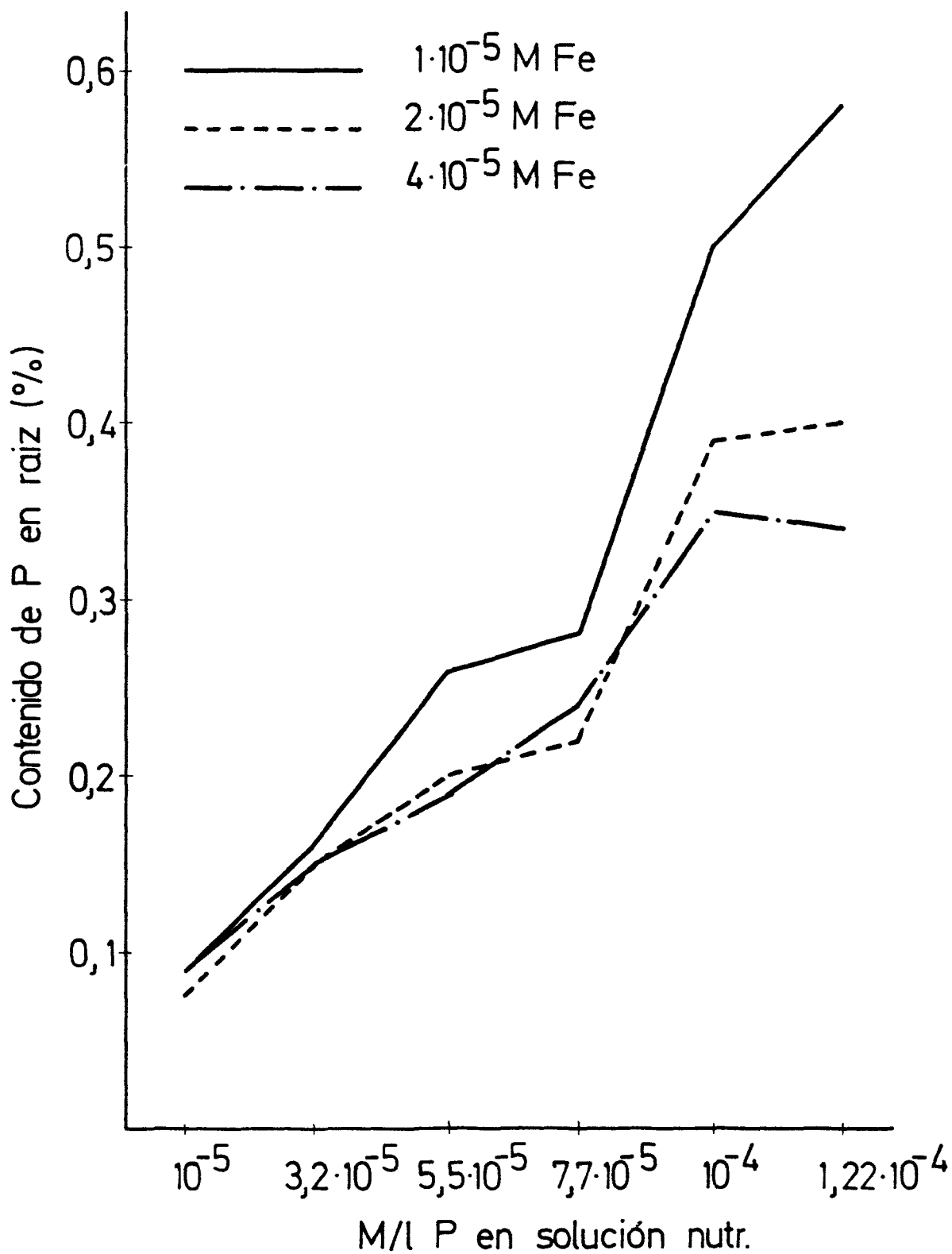


FIG. 9 Contenido de P en raíz

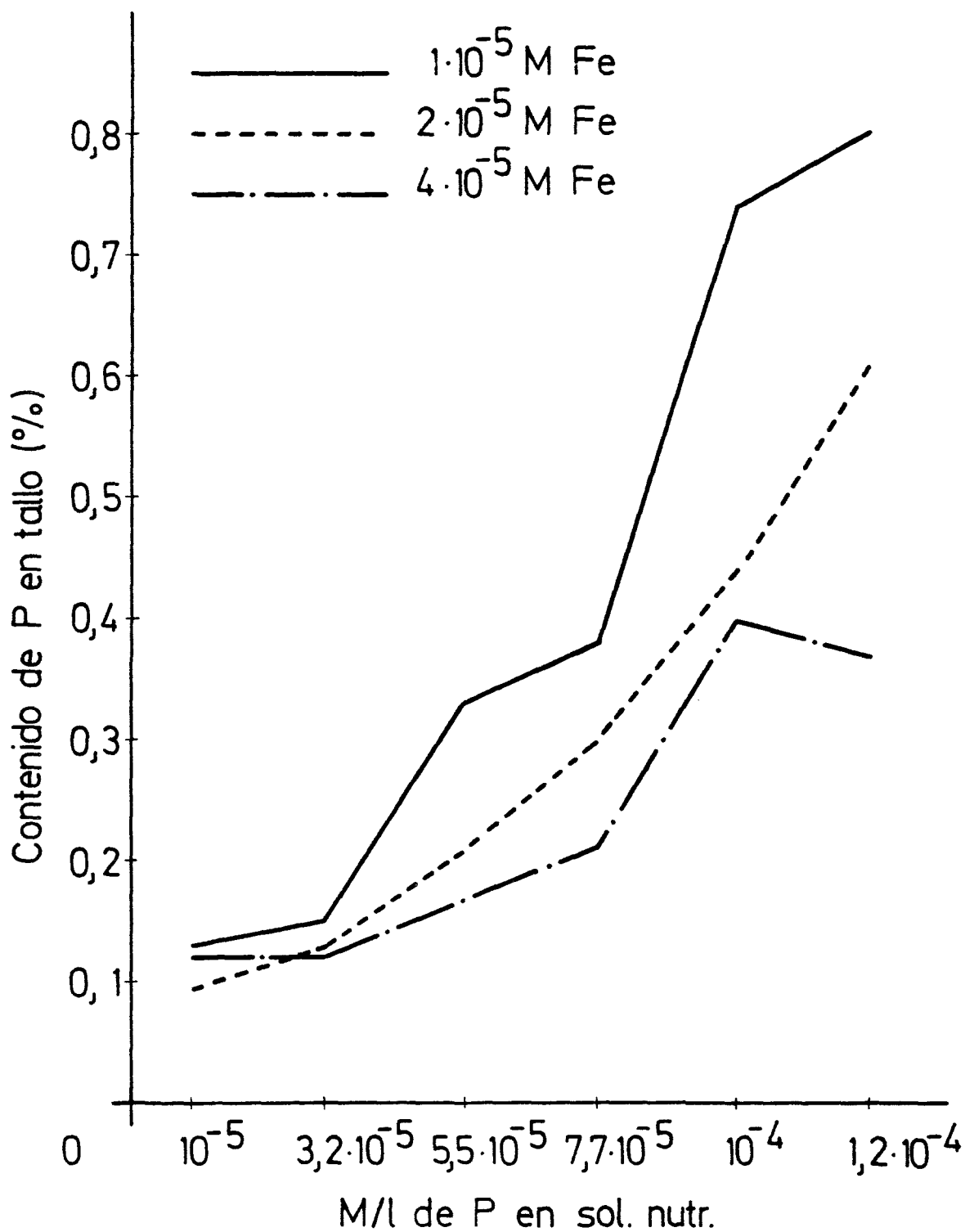


FIG. 10 Contenido de P en tallo

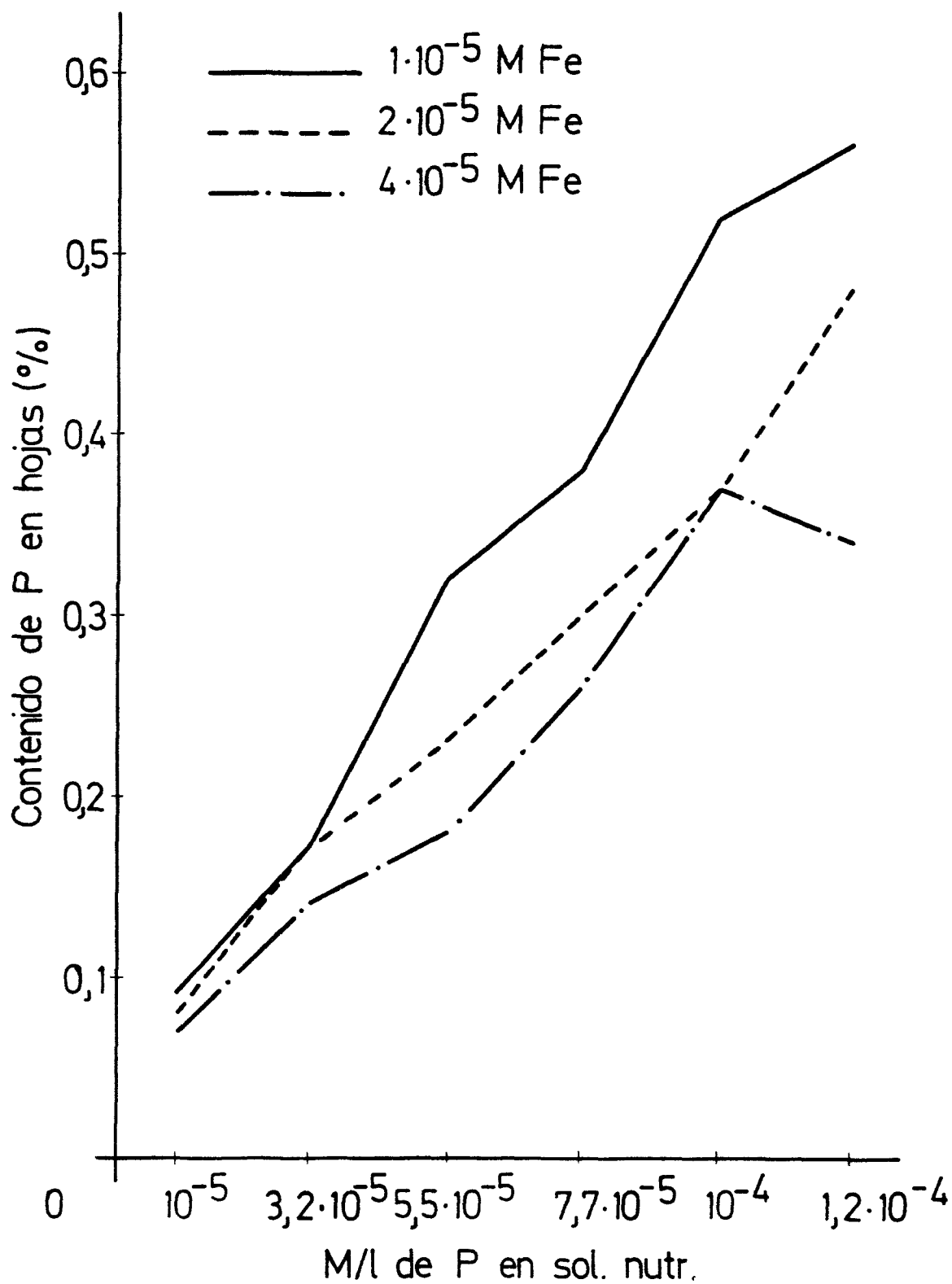


FIG. 11 Contenido de P en hojas

5.- DISCUSION.

5.1.- I EXPERIMENTO

5.1.1.- PLANTAS DESARROLLADAS EN SOLUCION NUTRITIVA NORMAL.

El estudio de la evolución experimentada por los contenidos en las plantas, de los diferentes nutrientes estudiados, mostró en primer lugar, como las concentraciones de N, P y K así como las de Ca y Mg en las partes aéreas del vegetal disminuyen al aumentar la edad de la planta.

No obstante, hemos de hacer notar, que mientras en el caso del N, se trata de una disminución gradual a la largo del ciclo vegetativo del maíz, no ocurre así para los otros nutrientes, ya que tanto la concentración de P como las de Ca y Mg, disminuyen prácticamente a la mitad de su valor cuando es visible el cuello de la 12ª hoja permaneciendo después sus niveles relativamente constante hasta el final del cultivo.

Respecto al K, cuya concentración en las plantas, tanto en parte aérea como en raíz es superior a la de los demás nutrientes estudiados, pudo comprobarse como su nivel en las partes aéreas, varia muy poco

durante las tres primeras etapas consideradas descendiendo después bruscamente a casi la mitad de su valor a partir de que tiene lugar la polinización.

Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Warncke y Barber (1974) quienes han comprobado como la concentración de N, P y K en la parte aérea de plantas de maíz desarrolladas también en solución nutritiva, disminuyen a medida que aumenta la edad de la planta.

Por el contrario, en el caso de Ca y Mg Warncke y Barber (1974) indican una relativa constancia de los niveles de estos nutrientes a lo largo del ciclo de cultivo, tanto en las partes aéreas como en los sistemas radiculares.

Recientemente Sanchez y Dios (1979a) estudiando la evolución con el tiempo de los niveles de los distintos macronutrientes catiónicos en dos híbridos de maíz, han comprobado, análogamente a lo encontrado en nuestro trabajo, como la concentración de K en las partes aéreas se mantiene relativamente constante durante las primeras dos semanas del desarrollo de las plantas, produciéndose después una ligera disminución hasta cerca del mes, seguida de un descenso muy marcado en dicha concentración de K, descenso que se suavi

za a partir del momento de la salida del plumero. Al mismo tiempo, dichos autores indican que el contenido medio en Ca del conjunto foliar manifiesta una alta variabilidad durante el desarrollo vegetativo de la planta.

Por lo que respecta a los niveles de Fe, Na, Mn y Zn en las partes aéreas, fueron máximos cuando las plantas eran muy jóvenes, es decir, hasta la aparición en las plantas del cuello de la 8ª hoja, disminuyendo a partir de ese momento para permanecer después en general relativamente constantes hasta casi el final del cultivo.

Por lo que respecta a las concentraciones de los nutrientes estudiados en las raíces de las plantas, pudo observarse que mientras los niveles de N y K permanecen inalterables durante las cinco etapas estudiadas, no ocurre así en el caso de los demás elementos. P y Ca en la raíz disminuyen durante el periodo correspondiente a la segunda etapa, es decir cuando es visible el cuello de la 12ª hoja, aumentando después en las posteriores. Análogamente el nivel de Zn en las raíces disminuye bruscamente cuando es visible el cuello de la 8ª hoja para volver a aumentar cuando la planta pasa del estado vegetativo al repro-

ductivo.

Por lo que respecta al Fe, los elevados niveles de dicho nutriente, hallados en los sistemas radicales durante todo el ciclo de cultivo, pueden ser consecuencia de la precipitación de este nutriente sobre la superficie de las raíces. Este extremo ha sido comprobado anteriormente por distintos investigadores (Biddulph y Woodbridge 1952, Rediske y Biddulph 1953), así Hernando y col (1979) han comprobado la existencia de una relación entre el nivel de fosfato en el medio nutritivo y la cantidad de Fe precipitado sobre la superficie radicular.

Por último, hemos de indicar que los % de los distintos nutrientes encontrados en este trabajo a lo largo del ciclo de cultivo son análogos a los encontrados por otros autores para este mismo cultivo desarrollados en solución nutritiva (Warncke y Barber 1974).

Respecto a las velocidades de absorción de nutrientes por las plantas, los resultados obtenidos han mostrado en general un aumento rápido de dicha velocidad con la edad de la planta.

No obstante tanto en el caso del P como en el del Ca y Mg dicho aumento se produce hasta el cuarto periodo del ciclo de cultivo, es decir, hasta el mo-

mento en el cual se inicia una rápida acumulación de materia seca en las semillas. Analogamente, otros investigadores han comprobado como la velocidad de absorción de nutrientes por las plantas de maiz aumenta hasta el momento del plumero, deteniendose o disminuyendo a partir de entonces (Warncke y Barber 1974, Sanchez y Dios 1979b).

En cuanto al flujo de nutrientes a través de las raices de las plantas, expresadas en μg por unidad de peso fresco de raiz y por dia, cuyos valores para todos los nutrientes estudiados aparecen recogidos en las tablas 8 y 9, comprobamos como en general, los valores máximos se producen cuando las plantas son jóvenes tal como puede observarse claramente en el caso del K, Mg y Na, en cuyo caso el flujo durante el periodo comprendido entre los 66 y 77 dias contados a partir de la germinación, es decir mientras se acumula la materia seca en las semillas, solo supone un 59%, 33%, y 9% respectivamente del obtenido en el periodo comprendido entre los 6 y 23 dias, es decir hasta que es visible el cuello de la 8ª hoja.

Esta reduccion en el flujo de nutrientes a través de la raiz a medida que aumenta la edad de la planta, confirma los resultados obtenidos por Mengel y Bar

ber (1974). La aparente discrepancia en valor absoluto entre los valores del flujo encontrados por nosotros y los obtenidos por dichos autores, también en plantas de maiz, queda explicada por el hecho de que Mengel y Barber, calculan el valor del flujo por unidad de longitud de raíz en vez de por unidad de peso fresco como ha sido realizado por nosotros.

Dichos autores (Mengel y Barber 1974) indican que la drástica reducción a lo largo del ciclo de cultivo de los valores del flujo de nutrientes a través de la raíz, es debida a un aumento muy rápido de la longitud de los sistemas radiculares de las plantas en el periodo comprendido entre los 20 y 70 días del desarrollo, aumento que no es compensado, por un incremento paralelo en la velocidad de absorción.

En experimentos realizados en el campo por Brewster y Tinker (1970) comprueban asimismo como el flujo de K en puerros disminuyó desde 17,11 a 11,50 $\mu\text{moles m}^{-1} \text{ d}^{-1}$ durante el periodo comprendido entre las 8 y 11 semanas de desarrollo de las plantas.

Por lo que respecta al Ca, los valores obtenidos por nosotros indican una relativa constancia en el flujo de dicho nutriente a lo largo del ciclo de cultivo. Esto está de acuerdo con los resultados ob-

tenidos por Bar-Yosef y col (1972) quienes indican que la absorción de Ca por las raíces activas de maíz es prácticamente constante a lo largo de la vida de la planta. Por el contrario Mengel y Barber(1974) utilizando también plantas de maíz, encuentran una disminución progresiva con la edad de la planta, del flujo de Ca en la raíz, análogamente a la que pudo observarse en otros nutrientes.

Por el contrario Loneragan y Snowball (1969) encuentran una disminución del flujo de Ca a través de las raíces a medida que aumenta la edad de las plantas cultivadas en solución nutritiva. Por su parte Elgawhary y col (1972), comprueban como el flujo de Ca en plantas de tomates varia de 0,23 a 10,50 $\mu\text{g atom m}^{-1} \text{ d}^{-1}$ durante el ciclo de cultivo de las plantas.

Todo lo anteriormente expuesto permite pues afirmar que durante los primeros estados del desarrollo de las plantas es precisa la presencia en el medio nutritivo, de unas concentraciones de nutrientes, en forma asimilable mucho más elevadas que las necesarias en las últimas etapas del ciclo de cultivo.

5.1.2.- ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PLANTAS DESARROLLADAS A DISTINTAS CONCENTRACIONES DE P

Los resultados obtenidos nos han permitido conocer, no solo las variaciones experimentadas en la composición de las plantas de maíz a lo largo del ciclo de cultivo, sino también y como punto fundamental, las variaciones que se producen en la velocidad de absorción y en el flujo de nutrientes a través de los sistemas radicales, en función de la edad de las plantas.

Es conocido el hecho de que diferentes concentraciones del ión fosfato en el medio nutritivo, inciden sensiblemente, no solo sobre la absorción de dicho nutriente por el cultivo, sino también sobre la de otros elementos y muy en particular sobre la absorción de Fe.

La segunda parte de este experimento se ha realizado pues con un doble objetivo, por un lado se trató de estudiar si existe un nivel "crítico" de fosfato necesario en cada etapa fenológico del cultivo y en segundo lugar, cual es la influencia que sobre la absorción de los otros nutrientes tienen la concentración de P presente en el medio.

Por lo que respecta a la influencia de la concentración de P en la solución nutritiva sobre el rendimiento del cultivo (tabla 10), los resultados han mostrado en primer lugar el valor crítico de la concentración 1.10^{-4} M/l de P para el cultivo de maíz en las condiciones en que se realizó el experimento. Valores de P en solución nutritiva inferiores a dicha concentración se traducen en un notable descenso en el peso de las plantas.

Por otra parte, la presencia en el medio de concentraciones de fosfato superiores a dicho valor no produce un incremento en el peso de las plantas, sino que por el contrario, para niveles de fosfato muy elevados (1.10^{-2} M/l) puede observarse un claro efecto depresivo sobre el rendimiento.

El efecto depresivo sobre el peso de las plantas, provocado por la presencia de altas concentraciones de P, ha sido también puesto de manifiesto por otros investigadores. Así Patel y col. (1976), en un estudio realizado con dos maíces híbridos, lo observan en el intervalo de 2.10^{-4} a 2.10^{-2} M/l de P. Este efecto se manifiesta análogamente para otros cultivos, así Ajakaiye (1979) lo observó tanto para el sorgo como para el mijo, si bien el intervalo difiere, en el

sorgo es para valores superiores a 1.10^{-4} M/l de P, mientras que en el caso del mijo es a partir de 1.10^{-3} M/l de P, es decir se manifiesta a niveles superiores a los de máximo desarrollo. Por otra parte Brewster y col (1975) han comprobado como una concentración de fosfato de 1.10^{-3} M/l provoca una ligera disminución del rendimiento en plantas de cebollas.

En cuanto a las variaciones experimentadas en los contenidos de los distintos nutrientes en función de la concentración de fosfato en la solución (tablas 11 a 19) se observó en primer lugar, que no existe ninguna relación lineal entre la concentración de fosfato en el medio y la cantidad absorbida por los cultivos. Así, un incremento de la concentración de P en la solución desde 1.10^{-7} a 1.10^{-5} M/l no provocó ningún aumento en el % de P en las plantas, en ninguna etapa del ciclo vegetativo del maíz. Hernando y col (1978) estudiando la influencia de un amplio margen de concentraciones de P sobre la absorción de dicho nutriente por plantas de cebada, comprobaron análogamente como, solo se producía un rápido incremento en los contenidos de P (tanto en parte aérea como en raíz) cuando el nivel de P en solución sobrepasaba los 1.10^{-4} M/l.

Otro efecto que ha podido observarse, es la acumulación de fosfato en los sistemas radicales que se produce en presencia de elevadas concentraciones de P en la solución, en especial cuando P es $1.10^{-2}M/l$. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por otros investigadores. Así Brewster y col (1975) han comprobado como para concentraciones de P elevadas, el % de P en las raíces de las plantas es sensiblemente más elevado que el encontrado en la parte aérea.

Otros experimentos han mostrado como la concentración de P en las raíces de tomate en solución nutritiva llegan a ser de 8 a 10 veces mayores que en las partes aéreas. Este efecto ha sido interpretado como debido a la precipitación de fosfato de Fe que se produce sobre las superficies radicales cuando existen elevadas concentraciones de P en el medio (Ayed 1970). Hernando y col (1978) comprueban también un efecto análogo en plantas de cebada.

Por lo que respecta a la influencia de la concentración de P sobre la absorción de los demás nutrientes, los efectos más importantes encontrados en este trabajo han sido sobre los iones Ca, Mg, Zn y Fe.

Pudo observarse como a partir del 2º periodo

considerado, es decir desde que es visible el cuello de la 12ª hoja, la concentración de Ca en las partes aéreas de las plantas era máxima para las cultivadas en soluciones conteniendo 1.10^{-7} y 1.10^{-6} M/l de P; para niveles de 1.10^{-5} M/l y superiores en general la concentración en el medio no ejerció ninguna influencia sobre los % de Ca en las partes aéreas.

Por el contrario una clara acumulación de este nutriente fué encontrada en los sistemas radiculares, siendo tanto mayor cuanto más elevada era la concentración de P en la solución. Este efecto puede estar conectado como ya dijimos anteriormente (pag 206) con alguna forma de precipitación del Ca en los sistemas radiculares.

Nielsen y Barber (1978) en la determinación del % de Ca en plantas de maíz, para distintos genotipos, realizada en solución nutritiva cuya concentración en P varia de 1.10^{-4} a 5.10^{-4} M/l, no observaron variaciones en el contenido del Ca, al variar la concentración de P en el medio nutritivo.

Por otra parte Bassiri y col (1979) tampoco observan variaciones significativas en el contenido de Ca en plantas de judías de "mungo" cuando la concentración de P añadido al suelo varia de $1.6.10^{-3}$ a

$6,5 \cdot 10^{-3}$ M/l.

En cuanto a la influencia de la concentración de P sobre el contenido de Mg podemos observar como su concentración en las partes aéreas del maiz es también máxima para $1 \cdot 10^{-7}$ y $1 \cdot 10^{-6}$ M/l de P, disminuyendo bruscamente al aumentar la concentración de P.

Nielsen y Barber (1978) encuentran un aumento de Mg en las plantas al disminuir la concentración de P en distintos genotipos del maiz.

Por otra parte Wallace y col (1976) estudiando plantas de judias desarrolladas en solución nutritiva cuya concentración de P oscila de $1 \cdot 10^{-5}$ a $1 \cdot 10^{-3}$ M/l, no observan diferencias significativas respecto al contenido de Mg en las hojas, siendo en el tallo donde observaron una ligera disminución en su contenido de Mg al reducir la concentración de P del medio nutritivo.

En realidad, no se conocen demasiado los mecanismos de interacción entre estos dos nutrientes (P y Mg), pero si se sabe que el Mg actua en la nutrición de las plantas como portador del ión fosfato en el interior del vegetal. Truog y col (1947) fueron unos de los primeros investigadores en establecer dicha relación. En este sentido si el Mg es el portador seria razonable haber encontrado una correlación positiva entre los

niveles de P y Mg en el interior del vegetal, pero posiblemente no sea el único portador del P, lo que explica esta aparente anomalía.

Los contenidos de Zn en las plantas (tabla 19) muestran que a partir de la polinización hay una disminución de la translocación de dicho nutriente a las partes aéreas, a medida que aumenta la concentración de fosfato en el medio nutritivo, hasta 1.10^{-3} M/l.

La interacción existente entre estos dos nutrientes ha sido establecida en numerosos experimentos (Burleson y Page 1967, Ganirón y col. 1969, Paulsen y Rotini 1968, Sharma y col 1968, Warnock 1970). Se trata en general de una deficiencia de Zn asociado con un exceso de P. Entre las causas posibles de esta deficiencia está un desorden metabólico dentro de la planta debido a un desequilibrio entre P y Zn o una excesiva concentración de P que interfiere con la función metabólica del Zn en ciertos puntos de las células. Por otra parte el Zn es un nutriente poco móvil en el interior de la planta.

En el caso particular del maíz Burleson y col (1961) indican como un aumento en el aporte de P induce una deficiencia de Zn así como un menor rendimiento.

En otros trabajos la aplicación de dosis cre

cientes de P disminuye la concentración de Zn en la planta, (Brown y col 1970, Loneragan 1961, Millikan 1963, Thorne 1965). La causa de esta deficiencia de Zn inducida por el P se ha sugerido que se debe a una interferencia del P con la absorción, translocación o utilización del Zn.

En experimentos de invernadero, Stukenholth y col (1966) miden la concentración y absorción de Zn por el maíz a medida que la concentración de P aumenta. La concentración y absorción de Zn por las raíces aumentó con la cantidad de P aplicado, mientras que en las partes aéreas disminuyó. Burleson y col (1961) sugiere la posibilidad de un antagonismo dentro de la raíz.

Sharna y col (1968) observan analogamente como un pequeño incremento en el contenido de P aplicado al maíz, provoca una notable reducción de la concentración de Zn en las partes aéreas, mientras que no se observa o fué muy pequeña la encontrada en las raíces. Esto indica que el principal efecto del P añadido fué una inhibición fisiológica en la translocación del Zn desde la raíz a la parte aérea.

En lo que se refiere a la influencia sobre el % de Fe en los tejidos vegetales, los resultados ob-

tenidos (tabla 16) muestran en primer lugar como los niveles de Fe en los sistemas radiculares son superiores a los encontrados en las partes aéreas, siendo máximos cuando las concentraciones de P en la solución fueron inferiores a 1.10^{-5} M/l. Este hecho coincide con la notable precipitación de Fe, tanto en solución nutritiva como en la superficie de las raíces, que se produjo para dichas concentraciones de P, pudiendo pues suponerse que gran parte de Fe encontrado en las raíces corresponde al precipitado sobre la superficie.

El análisis de este precipitado se realizó mediante microscopia electronica de "scanning", dando la siguiente composición porcentual:

21,722 de Mg, 4,648 de Al, 3,329 de Si, 6,724 de S, 23,172 de K, 15,986 de Ca y 24,416 de Fe. Así Hernando y col (1978) creen que es un óxido de Fe hidratado sobre el que están adsorbidos Mg y K en cantidades equimoleculares con el Fe, y una cantidad ligeramente inferior de Ca.

Diversos autores han encontrado evidencia de una acumulación de Fe en las raíces en presencia de elevados niveles de fosfato (Mathan y Amberger 1977).

Hernando y col (1978) comprueban analogamente esta acumulación de Fe en las raíces de cebada, de-

terminando que cuando la concentración de P es del orden de 1.10^{-4} M/l es cuando se obtiene un menor nivel de Fe en la raíz y al mismo tiempo el máximo en las partes aéreas.

Los resultados obtenidos en nuestro trabajo muestran como efectivamente la concentración de Fe en la parte aérea disminuye al aumentar el nivel de P en el medio nutritivo por encima de 1.10^{-4} M/l. Este efecto tiene lugar a lo largo de todo el ciclo de la planta.

Estos resultados indican que la translocación del Fe en el interior de la planta está afectada negativamente como consecuencia de los elevados niveles de P, lo que está de acuerdo con los resultados obtenidos por otros autores (Wallace y col 1976, Hernando y col 1978), quienes indican la necesidad de la existencia de un determinado nivel de P en el medio para lograr una correcta absorción y translocación del Fe.

Por lo que respecta a los demás nutrientes, el contenido en K de la parte aérea, cuando la solución nutritiva contiene una concentración de P comprendida entre 1.10^{-5} y 1.10^{-3} M/l, disminuye a medida que avanza el estado de desarrollo de las plantas de maíz, produciéndose una brusca disminución en una etapa del ci-

clo, que varia según la concentración de P del medio nutritivo; así, para 1.10^{-3} M/l de P, se origina desde la polinización hasta la iniciación de una rápida acumulación de materia seca en las semillas, mientras que para los niveles de 1.10^{-4} y 1.10^{-5} M/l de P, dicha disminución se produce a partir de que se hace visible el cuello de la 12ª hoja y hasta que tiene lugar la polinización.

Diversos autores han observado una fuerte disminución del contenido de K en la parte aérea, en el periodo precedente a la floración en plantas de maíz, suavizándose esa disminución hasta la recolección (Chandler 1960, Baker y col 1964, Sanchez y Dios 1979a). Mientras que para otros cultivos, como en el caso de las judías se observa una disminución progresiva en el contenido de K en la parte aérea a lo largo del ciclo de cultivo, no presentando intervalos de brusca disminución (Hanway y Weber 1971, Barber 1978).

En cuanto al Na, para todas las concentraciones de P estudiadas en este experimento su contenido es superior en la raíz que en la parte aérea.

Las plantas de maíz presentaron un contenido en Na mayor en los primeros estados de desarrollo, es decir, hasta que se hace visible el cuello de la 8ª ho-

ja, excepto en los niveles de 1.10^{-7} y 1.10^{-6} M/l de P, en los cuales los valores del Na fueron altos a lo largo de todo el experimento.

Kashirad y col (1978) observaron que al aumentar la dosis de P aplicadas al suelo, el contenido de Na de los guisantes forrajeros disminuía, si bien esta disminución variaba según el tipo de suelo.

En el primer estado fenológico del maíz estudiado, se observa en general un aumento en el contenido de Mn en la parte aérea al aumentar la concentración de P en el medio nutritivo, desde 1.10^{-5} a 1.10^{-3} M/l, disminuyendo para valores superiores.

Estos resultados encontrados por nosotros en solución nutritiva, son confirmados por los obtenidos por otros investigadores en experimentos de campo, así, Terman y col (1975) en su estudio realizado con cinco maíces híbridos desarrollados con distintos niveles de fertilización de P, ponen en evidencia un comportamiento distinto según el híbrido utilizado, así unos experimentan un incremento en la concentración de Mn al aumentar la dosis de P añadida al suelo mientras que en otros, ese incremento tiene lugar hasta una dosis de $1,5.10^{-2}$ M/l, presentando en las dosis más elevadas una disminución del valor de Mn en

la parte aérea.

Por otra parte en el lino, (Spratt y Smid 1978), es en el intervalo de 0 a 200 kg P/ha donde no varía el contenido de Mn, manifestándose una disminución cuando la fertilización de P es de 400 kg P/ha.

Kashirad y col (1978) en un experimento realizado con guisantes forrajeros observan una disminución del contenido de Mn en la materia vegetal al aplicar P al suelo, no encontrándose ninguna relación cuantitativa en dicha disminución.

VELOCIDAD DE ABSORCION DE NUTRIENTES

Al igual que vimos anteriormente, cuando se trataba de plantas de maíz desarrolladas en solución nutritiva normal (5.1.1), la tendencia general encontrada en esta parte del experimento, es que la velocidad de absorción de nutrientes por el cultivo, aumenta al hacerlo la edad de la planta.

No obstante, pudieron observarse ciertas particularidades en dicha velocidad de absorción; 1º en función de la concentración de ión fosfato presente en la solución nutritiva y 2º con respecto al nutriente estudiado.

Por lo que se refiere a la influencia de la concentración de ión fosfato en el medio de cultivo, se observa como en las plantas desarrolladas en una solución nutritiva cuya concentración en P es muy deficiente (1.10^{-7} y 1.10^{-6} M/l) no aumentó la velocidad de absorción de este nutriente a lo largo del ciclo de cultivo como la hace en las plantas cuyo nivel en P alcanza el valor de 1.10^{-5} M/l. Esto es debido a que las plantas correspondientes a los niveles de 1.10^{-7} y 1.10^{-6} M/l de P se paralizan en el desarrollo, mientras que las del nivel de 1.10^{-5} M/l de P, a pesar de presentar síntomas de deficiencias en P, continúan su desarrollo hasta el final del ciclo de cultivo.

En las concentraciones de 1.10^{-4} a 1.10^{-3} M/l de P aumenta la velocidad de absorción de P cuando se pasa del estado vegetativo al reproductivo, mientras que por el contrario en el nivel de 1.10^{-2} M/l de P disminuye la velocidad de absorción de P.

Mengel y Barber (1974) en un trabajo realizado con plantas de maiz en presencia de elevados niveles de P, observan un aumento inicial en la velocidad de absorción, para disminuir a partir del día 50 e iniciarse posteriormente un aumento de dicha ve

locidad hacia en día 80, esto concuerda en líneas generales con lo observado por nosotros para las plantas desarrolladas en solución nutritiva cuya concentración de P fué de 1.10^{-4} M/l.

Por otra parte al considerar la influencia de la concentración de P en la solución nutritiva sobre cada uno de los otros nutrientes estudiados, pudo observarse como en el caso del K, para las plantas desarrolladas en solución nutritiva cuya concentración de P es superior a 1.10^{-6} M/l, la velocidad de absorción aumenta hasta que tiene lugar la polinización, disminuyendo posteriormente hasta que se inicia la rápida acumulación de materia seca en las semillas.

Para otros cultivos la absorción del K es diferente, así las judías aumenta con la edad de la planta hasta los 78 días y a partir de este momento disminuye hasta el final del ciclo (Barber 1978).

La velocidad de absorción del Ca, presenta un aumento en general hasta que tiene lugar la polinización, produciéndose una disminución en el último periodo del ciclo para las plantas desarrolladas en una solución nutritiva cuyo contenido en P es adecuado o superior (1.10^{-4} a 1.10^{-2} M/l), dicho descenso en las plantas de maiz es observado por otros investigadores

(Warncke y Barber 1974).

Por lo que respecta al Mg fueron observadas dos tendencias; para las plantas desarrolladas en solución nutritiva cuya concentración en P es superior al valor de 1.10^{-4} M/l, en las cuales la velocidad de absorción del Mg aumenta a lo largo de todo el ciclo de cultivo, mientras que para valores que oscilan entre 1.10^{-6} y 1.10^{-4} M/l de P, en la etapa comprendida entre la polinización y la rápida acumulación de materia seca en las semillas, se produce una disminución del valor de dicha velocidad.

Los valores en la absorción del Fe son bastantes elevados a lo largo del ciclo de cultivo, esto es debido al Fe adsorbido por las raíces de las plantas de maíz.

Por otra parte, la velocidad de absorción del Na aumenta hasta la polinización, para las plantas desarrolladas en un medio nutritivo cuya concentración en P es superior a 1.10^{-5} M/l, pero a partir de este momento presentan comportamientos distintos según sea la concentración de P presente en la solución nutritiva.

Respecto a la velocidad de absorción del Mn y del Zn se observa un notable aumento en la última

etapa del ciclo, es decir en el periodo en el cual se acumula la materia seca en las semillas.

FLUJO DE NUTRIENTES A TRAVES DE LA RAIZ

Por lo que respecta al flujo de nutrientes a través de la raíz hemos preferido utilizar en el cálculo los pesos frescos de las raíces en lugar del peso seco, ya que el primero está probablemente mejor relacionado con el área de las superficies adsorbentes (Loneragan y Asher 1967).

Respecto al flujo de P, se observa como en los primeros estadios del desarrollo, es decir hasta que es visible el cuello de la 12ª hoja, se pone de manifiesto un aumento del flujo de P al aumentar la concentración de dicho nutriente en el medio, para las plantas desarrolladas en una solución nutritiva cuyo contenido en P oscila de 1.10^{-6} a 1.10^{-4} M/l, mientras que para, concentraciones superiores no se observan diferencias en los valores del flujo de P, al aumentar la concentración de P en el medio.

Analogamente a lo observado por nosotros Loneragan y Asher (1967) estudiando el efecto de las concentraciones de P sobre el flujo de dicho nutrien

te a través de los sistemas radiculares de ocho diferentes tipos de plantas, encuentran un aumento en el valor del flujo de P proporcional a la concentración de P en dicha solución nutritiva cuando dicha concentración pasa de 2.10^{-5} a 4.10^{-4} M/l, pero dicha proporcionalidad desaparece para concentraciones más elevadas.

Por otra parte se observa que valores bajos en el flujo de P produce una detención en el desarrollo de las plantas de maíz. Esto está de acuerdo con los resultados obtenidos por otros investigadores, así Lo neragan y Asher (1967) indican que velocidades de absorción de fosfato inferiores a $31 \mu\text{g/g}$ fresco de raiz. día producen un crecimiento mínimo en todas las especies de plantas estudiadas por ellos, indicando también que a esas velocidades tan bajas de absorción, la mayor parte del P absorbido fué retenido en la raiz, por otra parte un aumento en la velocidad de absorción de P desde 31 a $310 \mu\text{g/g}$ fresco de raiz. día aumentó el crecimiento de todas las especies, análogamente a lo encontrado en nuestro trabajo, y por último velocidades superiores a $310 \mu\text{g/g}$ fresco de raiz. día pueden conducir a una excesiva acumulación de P en las plantas si son mantenidas durante largos perioo

dos de tiempo.

La tendencia general en el flujo de los demás nutrientes es análoga a la observada en la primera parte del experimento I, así se presenta un flujo de K, Mg, Na y Zn mayor en las plantas jóvenes.

Por lo que respecta al flujo de K se observe un aumento en las plantas cuyo medio nutritivo oscila de 1.10^{-5} a 1.10^{-2} M/l de P, hasta que es visible el cuello de la 12ª hoja, experimentando a partir de este momento una disminución. Resultados análogos son observados para judías (Barber 1978).

El flujo de Mg experimenta una disminución a lo largo del ciclo, cuando las plantas de maíz han sido desarrolladas en una solución nutritiva cuyo contenido de P es de 1.10^{-4} ó 1.10^{-3} M/l.

Analogamente Brewster y Tinker (1970) en un trabajo con puerros observan una disminución del flujo de Mg a lo largo del ciclo de cultivo.

Por otra parte los valores del flujo de Na más elevados corresponden a la 1ª etapa del desarrollo en todo el intervalo de concentraciones de P de las soluciones nutritivas estudiadas. Resultados análogos se observan en el cultivo de puerros donde disminuye el flujo de Na en la 2ª cosecha (Brewster y Tinker 1970).

Por lo que respecta al flujo de Zn a través de la raíz, en general es máximo hasta que se hace visible el cuello de la 8ª hoja en todo el intervalo de concentraciones de P del medio nutritivo estudiado. Por otra parte en las plantas desarrolladas en solución nutritiva cuya concentración en P es de 1.10^{-5} o 1.10^{-4} M/l, a pesar de observarse una tendencia general a disminuir el flujo a medida que avanza el estado de desarrollo de las plantas, presentan un aumento en el último periodo estudiado. Estos resultados son concordantes con los obtenidos por Mengel y Barber (1975) también en plantas de maíz.

5.2.- II EXPERIMENTO

En el experimento anterior, se observó que las plantas de maíz desarrolladas sobre una solución nutritiva cuyo contenido en P fué inferior al normal se producía un precipitado de Fe depositado en las raíces, al mismo tiempo que en las desarrolladas a un nivel de P más elevado se producían interacciones entre el P y el Fe, manifestandose estas con síntomas de clorosis férrica.

El II experimento se ha realizado con el objetivo de determinar la influencia que tiene la variación de P y Fe en el medio nutritivo, tanto en el rendimiento como en la composición de las plantas de maíz.

En los sistemas radiculares se observa que para niveles de P adecuados o superiores (1.10^{-4} y 1.10^{-3} M/l) aumenta el rendimiento al aumentar el nivel de Fe en la solución nutritiva, mientras que por el contrario para el nivel inferior de P (1.10^{-5} M/l) se produce un aumento en el desarrollo radicular cuando disminuye el nivel de Fe en el medio nutritivo.

Esto hace suponer que para cada concentración de Fe existe una concentración de P en la cual se ob-

tiene el máximo rendimiento.

Por otra parte, se pone de manifiesto un incremento en el desarrollo de los sistemas radiculares al aumentar la concentración de P en la solución nutritiva, hasta alcanzar un valor máximo, manifestandose a concentraciones superiores de P un efecto depresivo en el desarrollo de la raíz.

Por lo que respecta al tallo analogamente a la raíz, se observa la dependencia que tiene la concentración de Fe de la de P para obtener el máximo desarrollo, si bien se muestra mucho más acentuada en este caso la existencia de una relación P/Fe, para obtener el máximo desarrollo en las plantas de maíz.

En el tallo se observa también un efecto depresivo del desarrollo a altas concentraciones de P, si bien este efecto es menos acusado cuando se aumenta la concentración de Fe.

Como era lógico esperar el desarrollo de las hojas confirma las tendencias observadas en la raíz y el tallo, de la existencia de una relación P/Fe que corresponde al máximo desarrollo.

La tendencia a aumentar el rendimiento en el nivel deficiente de P cuando disminuye el Fe podemos considerarla como muy definida, y es muy concluyente para la suposición de la existencia de una relación

óptima P/Fe en la planta.

El rendimiento en materia seca es proporcional al nivel de Fe en la solución cuando las concentraciones de P son adecuadas pero no cuando son deficientes, pues estas necesitan un nivel de Fe más bajo para su normal desarrollo.

Considerando las plantas de maíz en su conjunto podemos afirmar que la concentración óptima de P en la solución nutritiva para el máximo rendimiento de las plantas de maíz, depende de la concentración de Fe en el medio de cultivo, de tal manera que niveles más altos de Fe requieren una concentración superior de P, y en los casos de deficiencia de Fe, la fertilización fosfórica debe ser inferior a la normal, para no incrementar el problema de la citada deficiencia.

Existen trabajos realizado en suelos para otros cultivos en los cuales se pone de manifiesto la influencia de la concentración de Fe sobre el rendimiento, dependiendo esta de la concentración de P, que varia según el tipo de cultivo (Kashirad y col 1978, Bassiri y col 1979).

El efecto depresivo sobre el peso de materia seca de la parte aérea en las plantas de maíz, a altas concentraciones de P en solución nutritiva (1.10^{-3}

M/l) pone de manifiesto, una clara dependencia respecto al nivel de Fe presente en el medio nutritivo, siendo este efecto menor en presencia de un contenido en Fe más elevado ($4 \cdot 10^{-5}$ M/l), por tanto podría suponerse que el nivel de $1 \cdot 10^{-3}$ M/l de P, necesitaría una concentración de Fe superior a la utilizada por nosotros para obtener el máximo rendimiento en las plantas de maíz.

Este efecto depresivo en el rendimiento a altas concentraciones de P aparece en la bibliografía para otros cultivos como judías (Wallace y col 1976), cebada (Hernando y col 1978) y cebollas (Brewster y col 1975), teniendo lugar en el mismo intervalo de las concentraciones de P, en la solución nutritiva, que el observado por nosotros en el maíz.

La relación entre el peso seco de la planta completa y la concentración de P en el medio nutritivo, para cada concentración de Fe estudiada (fig.12) nos presenta un máximo muy definido a concentraciones normales y superiores de Fe ($2 \cdot 10^{-5}$ y $4 \cdot 10^{-5}$ M/l) en el medio nutritivo, mientras que para el nivel inferior de Fe ($1 \cdot 10^{-5}$ M/l), lo presenta menos acusado. Esta diferencia aparente puede ser debida a la falta de concentraciones de P comprendidas entre los valores de $1 \cdot 10^{-5}$

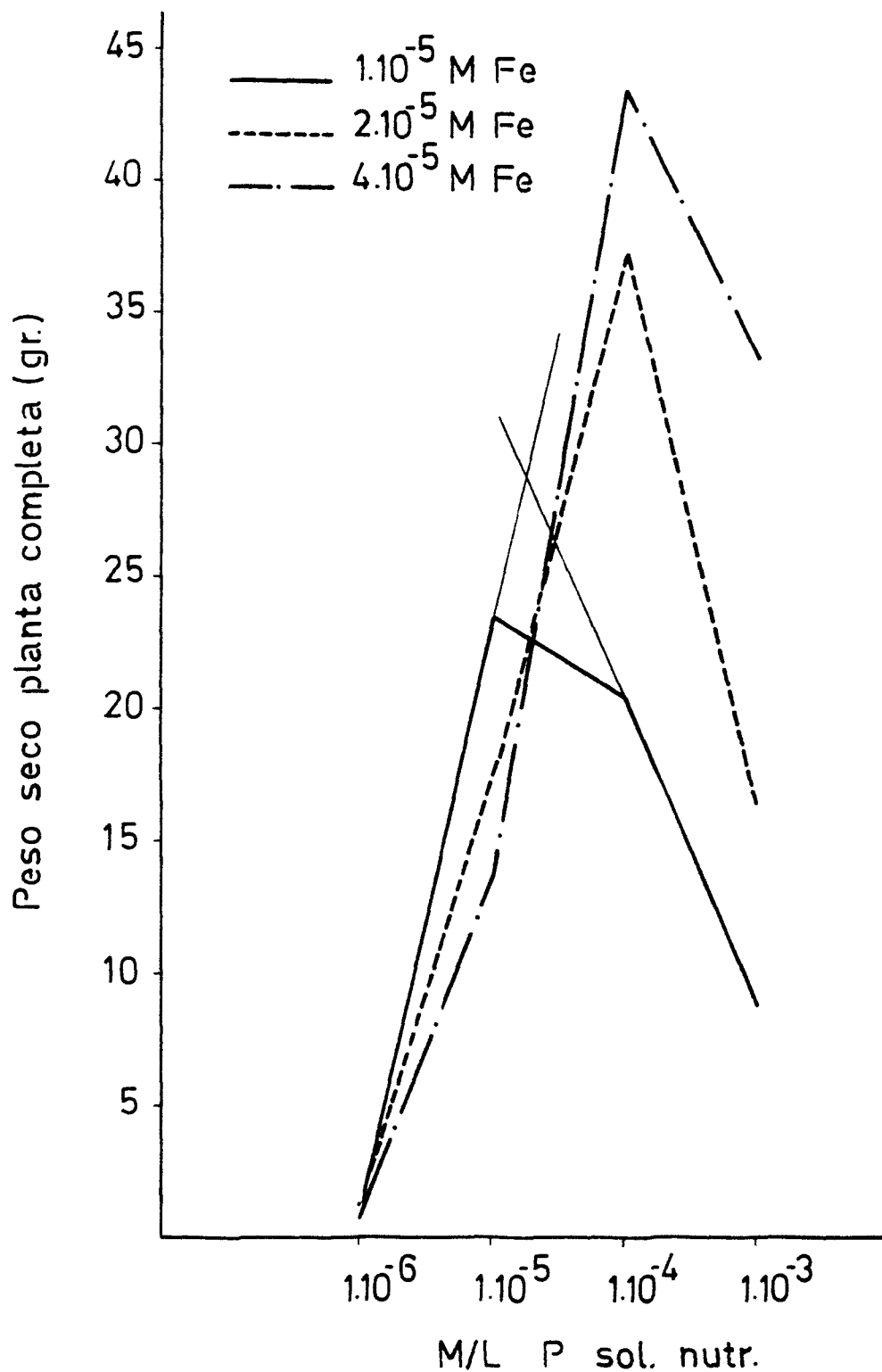


Fig. 12. — Relacion entre la conc. de P sol. nutr. y el peso seco de la planta completa, para cada una de las conc. de Fe

y 1.10^{-4} M/l. Ya que si prolongamos las rectas que unen los niveles bajos de P (1.10^{-6} y 1.10^{-5} M/l) por una parte, y la de los niveles adecuados y superiores de P por otra (1.10^{-4} y 1.10^{-3} M/l), se cortarían en un punto que presenta una relación P/Fe en la solución nutritiva de 2,5 ; siendo este valor análogo al máximo correspondiente a las plantas desarrolladas en un nivel de Fe superior (4.10^{-5} M/l).

Todo ello parece indicar que para cada nivel de P existe otro de Fe que corresponde a una relación P/Fe óptima para el rendimiento del maíz, al menos en solución nutritiva tanto para el nivel de P como para el de Fe que se considere.

Por lo tanto se presenta la necesidad de realizar un III experimento en el que se utilice un medio nutritivo con concentraciones de P comprendidas entre los valores de 1.10^{-5} y 1.10^{-4} M/l, para definir con una mayor precisión el valor de la relación P/Fe idónea en la solución nutritiva, para obtener el máximo desarrollo en las plantas de maíz.

Por lo que respecta al contenido de P en la materia vegetal (raíz, tallo y hojas) se observa un aumento con la concentración de P en el me -

dio nutritivo de 1.10^{-5} a 1.10^{-3} M/l. A altos niveles de P en la solución nutritiva, la planta presenta unos contenidos más elevados de P en la materia vegetal, pero este P asimilado no se traduce en un mayor rendimiento sino en todo lo contrario, en un efecto de presivo, muy posiblemente debido a que los niveles de Fe no llegan a ser adecuados.

Este aumento del P en las plantas de maiz al aumentar el P del medio de cultivo concuerda con los resultados existentes en la bibliografía, tanto desa rrolladas en solución nutritiva como en suelo.

En solución nutritiva han observado varios au tores los resultados a intervalos distintos de la concentración de P. Así Watanabe y col (1965) lo po nen de manifiesto en un experimento en el cual varían de 1.10^{-4} a 6.10^{-4} M/l el contenido de P en el medio nutritivo, mientras que Adriano y col (1971) lo ob servan en el intervalo comprendido entre $1,2.10^{-4}$ y $5,0.10^{-3}$ M/l de P. Por otra parte Prabhakaran Nair y Babu (1975) en un experimento de maiz realizado sobre suelo en el que se le añade una fertilización de P que oscila de $1,6.10^{-3}$ a $4,8.10^{-3}$ M/l observan el mis mo efecto. Analogamente Terman y col (1975) lo po nen en evidencia en dos experimentos realizados con distintos híbridos de maiz, cuyo nivel de fertiliza-

ción oscila de $5,5 \cdot 10^{-4}$ a $3,0 \cdot 10^{-2}$ M/l de P.

La diferencia fundamental con nuestro trabajo es que nosotros hemos empleado una gama más amplia de concentraciones de P.

Este efecto de un aumento en el contenido de P en la materia vegetal, al aumentar el P del medio nutritivo es también observada para otros cultivos, así lo presentan las judías (Wallace y col 1976), la cebada (Hernando y col 1978), el sorgo y el mijo (Ajakaiye 1979), las judías de "mungo" (Bassiri y col 1979), los guisantes forrajeros (Kashirad y col 1978), el girasol (Fortini 1961), los judías arriñonadas rojas, el maíz dulce, los tomates y los renuevos de naranjos amargos (Bingham 1963).

En cuanto a la variación que experimenta el contenido de P en el maíz, al variar la concentración de Fe para una misma concentración de P en el medio nutritivo, observamos que para los niveles inferiores al óptimo de P ($1 \cdot 10^{-4}$ M/l) no experimentan ningún cambio, mientras que por el contrario, los niveles de $1 \cdot 10^{-4}$ y $1 \cdot 10^{-3}$ M/l de P ponen de manifiesto una disminución en el contenido de P al aumentar la concentración de Fe. Esta disminución en la concentración de P va acompañada de un aumento en el rendimiento de las plantas, lo

cual no está en oposición a la existencia de una relación P/Fe para cada concentración de P en los tejidos meristemáticos para su mejor desarrollo, pues dada la diferencia en rendimiento, la concentración de P en los tejidos puede venir afectada también, por un problema de dilución, pero este efecto en este caso es inferior como puede verse en las tablas 39, 40 y 41.

En la bibliografía encontramos resultados que señalan una disminución en el contenido de P en la materia vegetal del maíz al aumentar el nivel de Fe en el medio nutritivo cuando se desarrolla en un intervalo de concentraciones de $1,2 \cdot 10^{-4}$ a $5,0 \cdot 10^{-3}$ M/l de P y de $1,2 \cdot 10^{-5}$ a $4,4 \cdot 10^{-4}$ M/l de Fe (Adriano y col 1971) de acuerdo con lo observado por nosotros. Por el contrario, en otros cultivos como las judías, cuando se desarrollan en medio nutritivo, en un intervalo de $1 \cdot 10^{-5}$ a $1 \cdot 10^{-3}$ M/l de P no existe diferencia significativa en el contenido de P en la materia vegetal al variar la concentración de Fe en solución de $1 \cdot 10^{-6}$ a $5 \cdot 10^{-5}$ M/l (Wallace y col 1976), análogamente cuando se desarrollan cultivos de judías de "mungo" (Bassiri y col 1979) y guisantes forrajeros (Kashirad y col 1978) en suelos en los que se fertiliza con P con $1,6 \cdot 10^{-3}$; $3,2 \cdot 10^{-3}$ y $6,5 \cdot 10^{-3}$ M/l no se observan variaciones del conteni

do de P en las plantas, cuando se varia el contenido de Fe mediante una fertilización de $8,9 \cdot 10^{-5}$, $1,8 \cdot 10^{-4}$ y $3,6 \cdot 10^{-4}$ M/l. Si bien en el caso de los guisantes forrajeros cuando la fertilización de P fué de $6,5 \cdot 10^{-3}$ M/l se produce un aumento en el contenido de P al fertilizar el suelo con Fe.

Todo esto confirma que debe existir un equilibrio P/Fe en la planta, pero este varia con la planta en estudio y con otros diversos factores.

En el contenido de Fe en las raices se observa una tendencia a presentar un mínimo de absorción de Fe precisamente en los casos de mayor desarrollo de las plantas. Esto ya lo observaron para la cebada (Hernando y col 1978). Es como si al óptimo de rendimiento fuera unido a una mayor movilidad del Fe o una menor necesidad de este elemento. Sin embargo en otros cultivos como las judías se observa lo contrario, es decir, presentan un contenido en Fe superior las raices que obtuvieron un mayor desarrollo radicular (Wallace y col 1976).

Por otra parte se observa una tendencia a disminuir la concentración de Fe en la raíz al mismo tiempo que aumentan los valores de P en la solución nutritiva

hasta llegar al óptimo del rendimiento.

El contenido de Fe en la raíz, para un mismo nivel de P en la solución nutritiva manifiesta una tendencia a aumentar cuando aumenta el nivel de Fe en la solución, lo cual es lógico, y esto ocurre para todos los niveles de P considerados.

En el tallo ocurre lo mismo que en la raíz con la excepción de que en este caso no aumentan los valores de Fe en la materia vegetal con la concentración de Fe en la solución nutritiva, para concentraciones de P adecuadas o superiores (1.10^{-4} y 1.10^{-3} M/l).

En el caso de las hojas no se observan las relaciones apuntadas para la raíz y el tallo, es como si el Fe en las hojas fuera más independiente del presente en la solución nutritiva.

En el nivel más alto de Fe (4.10^{-5} M/l) la concentración de Fe en las hojas disminuye al incrementar la concentración de P en el medio nutritivo analogamente a la raíz y el tallo, si bien en las hojas dicha disminución continua despues de alcanzar el óptimo de producción. Creemos que en las hojas la translocación tiene más importancia que la absorción en sí, por esto la tendencia general a disminuir el Fe al aumentar el P en el medio, pues este dificulta la movilidad

del primero.

Este efecto de disminuir el contenido de Fe en las hojas al aumentar el nivel de P del medio nutritivo, ha sido observado para las plantas de arándano (Holmes 1960).

Por otra parte la bibliografía muestra para las plantas de maíz híbrido Y_{S1}/Y_{S1} cultivado en solución nutritiva a altos niveles de P, una disminución en el contenido de Fe en la raíz al aumentar la concentración de P en la solución nutritiva, esto contradice en principio lo observado por nosotros, mientras que en la parte aérea se pone de manifiesto una disminución de la concentración de Fe, siendo esto análogo. Esta contradicción aparente en la raíz puede ser debida a un efecto salino del medio de cultivo, ya que la concentración de Fe sobre la que se desarrollan las plantas de maíz (1.10^{-4} M/l de Fe) es superior a la utilizada por nosotros (1.10^{-5} ; 2.10^{-5} y 4.10^{-5} M/l de Fe) (Patel y col 1976).

En la relación $[Fe_{p.aérea}]/[Fe_{raíz}]$ observamos como en el nivel inferior de Fe (1.10^{-5} M/l) no se observan diferencias en las plantas desarrolladas en solución nutritiva cuya concentración en P oscila de 1.10^{-6} a 1.10^{-4} M/l, sin embargo se observa una dismi-

nución a altas concentraciones en P (1.10^{-3} M/l), mientras que para niveles de Fe normales o superiores (2.10^{-5} y 4.10^{-5} M/l) se observa una relación máxima para el valor de 1.10^{-4} M/l de P produciéndose una disminución tanto para valores más elevados como inferiores. De todo ello se deduce que para valores bajos de Fe, la translocación de este viene afectada cuando existen altas concentraciones de P, mientras que para valores normales y altos de Fe en solución nutritiva la translocación viene afectada tanto a altas como a bajas concentraciones de P. Todo esto confirma la existencia de un óptimo P/Fe especialmente en cuanto a la movilidad del Fe en la planta.

A altos niveles de P en el medio nutritivo las plantas de maíz presentan síntomas de clorosis. Esto puede ser debido a que un aumento de P en los tejidos origina una mayor cantidad de Fe unido al fosfato y como consecuencia menos cantidad de Fe asimilable para las funciones que realiza este nutriente en el interior de la planta, como la función clorofílica (Odu-rukwe y Maynard 1969). Puesto que el Fe que se une a las fosfoproteínas de las células de las plantas está en estado férrico y no en estado ferroso, entonces la razón P/Fe puede ser una medida del balance ferrico-

ferroso de las células (Dekock y col 1960).

Mediante el estudio de autorradiogramas se observa que altas concentraciones de P en el medio de cultivo impide la absorción y translocación del Fe, ya que las plantas presentan una dificultad en la translocación intervenal, quizás el Fe fué inactivado o precipiitado en las venas y no fué translocado el mesofilo (Ajakaiye 1979).

El contenido de N en la planta experimenta una disminución al reducir la concentración de P en la solución nutritiva. Esto concuerda con la bibliografía tanto para distintos híbridos de maíz (Nielsen y Barber 1978) como para algunos otros cultivos (Bassiri y col 1979). mientras que por el contrario existen cultivos en los cuales al disminuir la concentración de P en la solución nutritiva aumenta el contenido de N en la parte aérea como en el caso del lino (Spratt y Smid 1978).

Por lo que respecta a la variación del contenido de Fe en solución nutritiva se observa en las raices y en las hojas una tendencia a ser mayor en N en el nivel intermedio de Fe ensayado. En los tallos esta tendencia solo se observa para la concentración de 1.10^{-3} M/l de P en la solución nutritiva, es decir para la más alta ensayada.

Para otros cultivos la bibliografía muestra variaciones en el contenido de N cuando varia la concentración de Fe en el medio nutritivo, como en el caso de los guisantes forrajeros (Kashirad y col 1978) y las judías de mungo (Bassiri y col 1979).

El contenido de K en el sistema radicular presenta una tendencia a disminuir, al aumentar los niveles de Fe en el medio nutritivo y también cuando se reduce la concentración de P en la solución. Es decir existe un sinergismo con el P y un antagonismo con el Fe. Esto último se manifiesta más claramente para la concentración de P en la solución nutritiva de 1.10^{-4} M/l en que el desarrollo de las plantas es mayor y donde se observó un aumento en el contenido de P en la raíz al disminuir la concentración de Fe de la solución nutritiva. En la parte aérea solo se observa el aumento del K con la disminución del Fe en el medio para los niveles altos de P (1.10^{-4} y 1.10^{-3} M/l).

Para otros cultivos como las judías el aumento en la concentración de K al disminuir el nivel de Fe en la solución nutritiva se observa también para los niveles de P inferiores a los del máximo rendimiento (Wallace y col 1976).

El contenido de K en la parte aérea de las plantas de maiz que no presentan síntomas de deficiencia de P, ponen en evidencia una correlación positiva con el contenido de P, al variar la concentración de P y la de Fe en el medio nutritivo, por otra parte hay que añadir que esta correlación positiva no se presenta para las plantas cuyos tejidos nos muestran síntomas de deficiencia en P.

Por lo que respecta al Ca en el sistema radicular, los quelatos del EDTA añadidos a la solución nutritiva, en nuestro caso el del Fe, pueden ser afectados por el Ca presente, ya que este catión forma quelatos con una constante de estabilidad relativamente alta (DeKock y col 1960), sin embargo no se observan diferencias apreciables para los tratamientos utilizados.

Por el contrario en el tallo se manifiesta un aumento del contenido de Ca al disminuir la concentración de P de la solución nutritiva; mientras que la variación respecto a las diferentes concentraciones de Fe depende del nivel de P. Así a niveles altos (1.10^{-3} M/l) se produce un aumento de la concentración de Ca en las plantas de maiz al disminuir

la concentración de Fe de la solución nutritiva, por el contrario en los niveles bajos (1.10^{-6} y 1.10^{-5} M/l) se produce una disminución en la concentración de Ca.

En las hojas la tendencia es similar si bien menos marcada. Esta observación la hemos hecho también para otros elementos, por lo que nos confirma la presencia de una acción tampón que equilibra las diferencias de absorción por las raíces.

Resultados análogos aparecen en la bibliografía, así Nielsen y Baber (1978) en un trabajo con plantas de maíz realizado a dos niveles de fertilización de P en el suelo, las plantas muestran un contenido en Ca mayor cuanto menor es el contenido de P en el suelo.

Por otra parte el efecto de la variación de P y del Fe en el medio nutritivo para otros cultivos es diferente, así en el caso de judías de "mungo" (Bassiri y col 1979) desarrolladas en suelo con tres niveles de fertilización de P ($1,6.10^{-3}$; $3,2.10^{-3}$; $6,5.10^{-3}$ M/l) y tres de Fe ($8,9.10^{-5}$; $1,8.10^{-4}$; $3,6.10^{-4}$ M/l) en combinación factorial, observaron un aumento en el contenido de Ca al aumentar la fertilización de Fe añadida al suelo, sin embargo no aprecian variaciones en el contenido de Ca cuando se va

ria la concentración de P en el suelo.

En cuanto al contenido de Mg, en el sistema radicular no se observan diferencias significativas al variar las concentraciones de P y Fe en las soluciones nutritivas.

En los tallos y hojas se pone de manifiesto, análogamente al Ca, un contenido mayor de Mg en las plantas desarrolladas con niveles más bajos de P. Esto parece indicar que al existir una gran deficiencia en P, se produce una acumulación en el contenido de Mg, pues este catión tiene un papel importante en el metabolismo glucídico, ya que muchos de los enzimos que intervienen necesitan Mg como activador Sin embargo Martín Prevel (1978) con bananeras encuentra que el P en la planta se reduce para niveles bajos de Mg y aumenta para valores altos de Mg.

Nuestra observación que es inversa, pues lo que variamos es el nivel de P está en consonancia, aunque aparentemente los resultados son contrarios. La razón es que variamos el P y por tanto, cuando es deficiente la planta para contrarrestar aumenta la absorción de Mg que facilita la absorción del P.

Por otra parte en las plantas desarrolladas con un nivel alto de P, el contenido de Mg en la parte aérea aumenta al disminuir la concentración de Fe, así en el nivel inferior de Fe, es decir 1.10^{-5} M/l se observa un contenido en Mg mayor lo mismo a bajas que a altas concentraciones de P, es decir 1.10^{-6} y 1.10^{-3} M/l. Dicho efecto se manifiesta en plantas de judías (Wallace y col 1976) desarrolladas en solución nutritiva tres concentraciones de P (1.10^{-5} ; 1.10^{-4} ; 1.10^{-3} M/l) y a dos niveles de Fe (1.10^{-6} y 5.10^{-5} M/l) así en el nivel inferior de Fe se observa en los tallos un mayor contenido de Mg en las plantas desarrolladas en los niveles extremos de P en la solución nutritiva (1.10^{-6} y 1.10^{-3} M/l).

La parte aérea de las plantas de maíz muestran una misma tendencia a la variación de Ca y Mg respecto a los incrementos de P y Fe en el medio nutritivo, pues el Ca y Mg están muy relacionados en su papel fisiológico ya que el Ca parece tener influencia en la formación de las membranas celulares, fijando por precipitación las sustancias pécticas de la membrana primaria(pectatos de Ca y Mg).

El contenido de Mn en los sistemas radiculares

disminuye al disminuir el contenido de P en la solu
ción nutritiva.

Por el contrario en la parte aérea se origina un aumento en el contenido de Mn, al disminuir el P por debajo de los niveles de máximo desarrollo (1.10^{-5} ó 1.10^{-4} M/l), produciéndose análogamente a la raíz un aumento de Mn al aumentar la concentración de P a ni
veles superiores a los de máximo rendimiento. Es de
cir que las plantas de mayor rendimiento en materia seca son las que presentan un menor contenido de Mn en la parte aérea.

De ello se deduce que para niveles de P infe
riores a los adecuados (1.10^{-4} M/l) se origina una mayor traslocación del Mn a la parte aérea; esto pue
de ser originado para contrarrestar la falta de P, ya que el Mn puede actuar como activador de los enzi
mos que intervienen en el metabolismo glucídico.

El aumento en el contenido de Mn en la materia vegetal al aumentar la concentración de P en el medio nutritivo a valores superiores a los de máximo rendi
miento es observado para otros cultivos como el sor
go (Ajakaiye 1979).

Por lo que respecta a una variación de Fe en

el medio nutritivo, se manifiesta una tendencia a aumentar el contenido de Mn en el sistema radicular cuando aumenta la concentración de Fe, excepto en el nivel óptimo de P (1.10^{-4} M/l) en el cual la tendencia es al contrario. Por lo que respecta a la parte aérea para niveles de P elevados (1.10^{-3} M/l) el contenido de Mn aumenta al disminuir el Fe en el medio nutritivo.

Las plantas desarrolladas en solución nutritiva a altos niveles de P (1.10^{-3} M/l) presentan un aumento en los contenidos de P y Mg en la parte aérea al disminuir el Fe en el medio nutritivo, análogo al observado para el Mn, esto es debido a la existencia de una relación de sus funciones en la planta, pues el Mn puede sustituir al Mg que actúa como activador de los enzimas que intervienen en el metabolismo glucídico.

Van der Worn y Van Diest (1979) han observado en plantas de arroz una relación inversa entre el contenido de Mn y el de clorofila en las hojas, suponiendo que los síntomas de clorosis pueden ser debidos a altos contenidos de Mn en hojas. Nosotros en el maíz desarrollado a altos niveles de P (1.10^{-3} M/l) observa

vamos una relación directa entre el contenido de Mn en hoja y los síntomas de clorosis.

En cuanto al contenido de Zn para niveles adecuados y más altos de P se pone de manifiesto una disminución en las raíces al aumentar la concentración de Fe en el medio de cultivo. Así el Fe parece que es antagónico al Zn, esto puede ser atribuido a la competencia por los sitios de absorción en el espacio aparentemente libre de Donnan (Rathore y col 1973, Reddy y col 1978).

En las plantas desarrolladas en un intervalo de concentraciones de P en solución nutritiva que oscila de 1.10^{-5} a 1.10^{-3} M/l, se observa un mayor contenido de Zn en las raíces que en la parte aérea. Esto es debido a que las plantas toman sus requerimientos nutricionales antes de que tenga lugar la traslocación a la parte aérea; así existen trabajos en los cuales miden la distribución del Zn entre la raíz y la parte aérea en los cultivos desarrollados sobre distintas concentraciones de Zn, observando que el % de la raíz depende claramente de la concentración de Zn en el medio nutritivo (Carroll y Loneragan 1968).

A niveles de P superiores a los adecuados para obtener el máximo rendimiento, se observa una tensión

dencia a aumentar el contenido de Zn en la materia vegetal (raiz, parte aérea).

Este aumento en el contenido de Zn es debido a que altas concentraciones de P en los tejidos vegetales inducen altos requerimientos de Zn (Loneragan y col 1979), ya que a altos niveles de P se puede atribuir un efecto inhibidor del P sobre la traslocación de Zn a los puntos activos del metabolismo de las plantas (Snehi Dwivedi y col 1975).

En la parte aérea de las plantas desarrolladas en una solución nutritiva con niveles de P adecuados o muy altos (1.10^{-4} y 1.10^{-3} M/l) se observa una disminución en el contenido de Zn al aumentar la concentración de Fe en el medio nutritivo. Esto se ha observado también para otros cultivos, así Wallace y col (1976) lo ponen de manifiesto para judías y Kashirad y col (1978) para el cultivo de guisantes forrajeros.

El resultado es como si la absorción del Fe dificulta la del Zn o porque aquél suple en las plantas algunas misiones del Zn.

En las plantas desarrolladas en un medio fuertemente deficiente en P (1.10^{-6} M/l, se observa un elevado contenido de Zn en la parte aérea, ya que se

produce una mayor movilidad de este nutriente en el interior de la planta. Esto es debido a que un aumento del Zn disminuye los efectos producidos por la falta de P (Banfi y Cavazzoni 1963), pues el Zn juega un papel importante en la fosforilación (Rosell y Ulrich 1964). Así Boawn y Leggett (1964) observan que un aumento de Zn puede eliminar los trastornos del desarrollo de las patatas, inducidos por la deficiencia de P. Parece también como si la presencia de P dificultara la movilidad del Zn, como si tuvieran el mismo transportador, y cierta incompatibilidad, o bién, que la necesidad de Zn en el metabolismo vegetal se reduce al aumentar el P en el medio a niveles adecuados de este.

La relación P/Zn en tallo frente a la concentración de Fe en la solución nutritiva (fig.13) nos pone de manifiesto para niveles de P bajos en solución nutritiva (1.10^{-6} y 1.10^{-5} M/l, una relativa constancia al aumentar el Fe del medio nutritivo, es decir que no hay influencia de la concentración de este en aquella , mientras que para niveles de P adecuados o más altos (1.10^{-4} y 1.10^{-3} M/l aumenta el valor de la relación P/Zn, es decir que exista un claro sinergismo, entre esta relación y el nivel de Fe en la solución nutritiva.

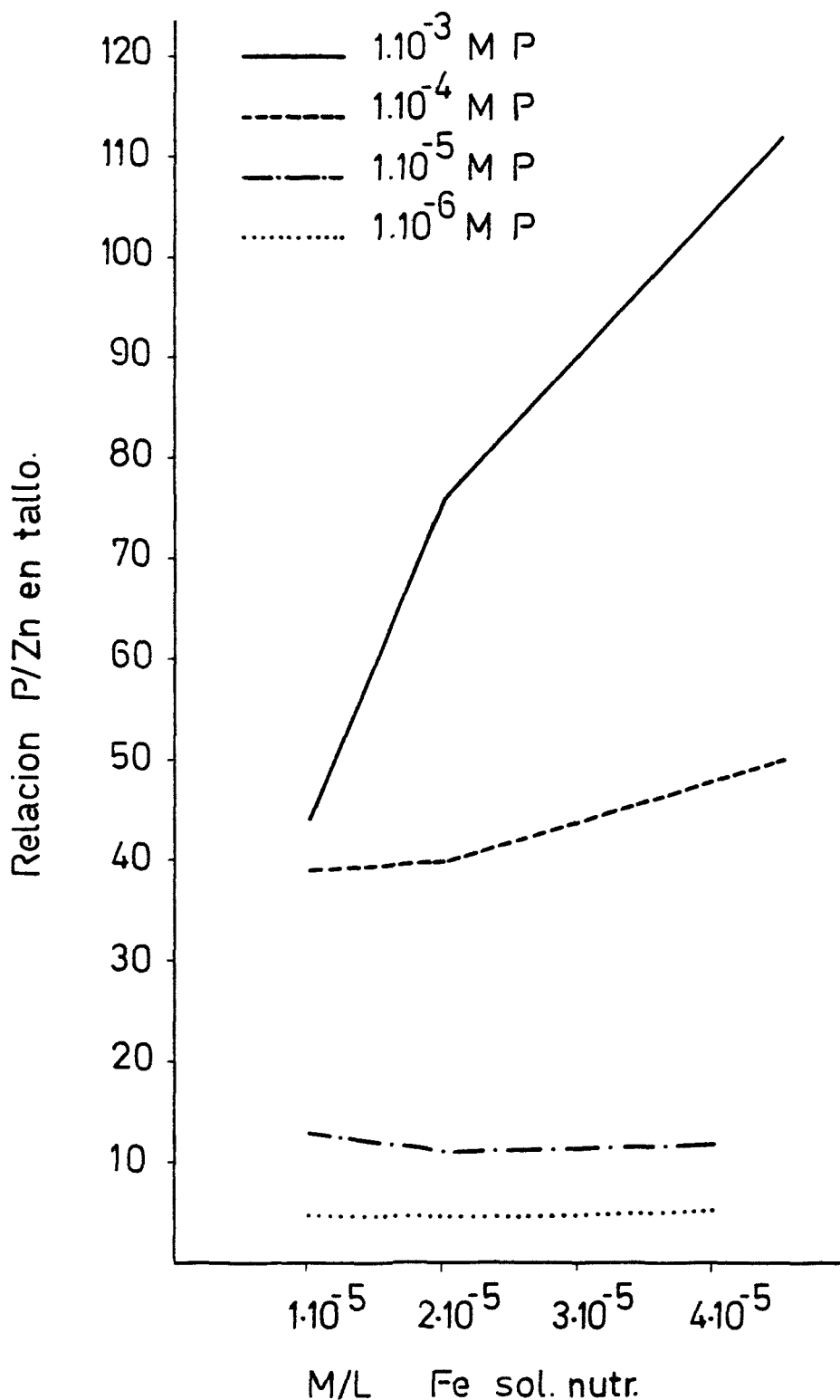


Fig.13 Relacion entre la conc. de Fe en sol. nutr. y el valor P/Zn en tallo, para cada una de las conc. de P en sol.

5.3.- III EXPERIMENTO

En el experimento anterior observamos que el intervalo de 1.10^{-5} a 1.10^{-4} M/l de P en la solución nutritiva es el más crítico, ya que se pasa de unas plantas cuyos tejidos inician síntomas de deficiencia en P, a otras en las cuales se obtienen un óptimo de desarrollo, de ahí la importancia de realizar un experimento en cuyas soluciones nutritivas quedan reflejadas concentraciones de P que correspondan a dicho intervalo.

Las variaciones experimentadas en el contenido de nutrientes por las plantas de maíz al variar las concentraciones de P y de Fe en la solución nutritiva son las mismas que las observadas en el II experimento, lo que es lógico ya que solo varían las concentraciones de P que son intermedias entre dos concentraciones del II experimento, si bien en algunos casos se puede precisar con más exactitud la concentración de P en la cual se observan los diferentes comportamientos.

En la materia seca de las plantas se observa que para cada nivel de Fe le corresponde un valor de la concentración de P, para obtener el máximo rendimien

to. Así para el nivel de 1.10^{-5} M/l de Fe el máximo le corresponde a las plantas desarrolladas en solución nutritiva cuyo contenido en P es $3,2.10^{-5}$ M/l, mientras que para el siguiente nivel de Fe, es decir el 2.10^{-5} M/l, le corresponde a $5,5.10^{-5}$ M/l de P, y por último para el nivel más elevado de Fe, el 4.10^{-5} M/l, el máximo lo obtiene la concentración de $7,7.10^{-5}$ M/l de P. Es decir que cuanto más Fe está presente en la solución nutritiva la concentración de P idónea para un máximo desarrollo del maíz aumenta y por el contrario para niveles bajos de Fe la concentración óptima de P es más baja de acuerdo con la existencia de una relación P/Fe idónea, que ya señalabamos en el experimento anterior.

Con este experimento queda definida la existencia de una relación P/Fe en el medio nutritivo para obtener el máximo desarrollo de las plantas de maíz, estando este valor comprendido entre 1,9 y 3,2 . Probablemente este valor sea fijo, pero su comprobación requeriría disponer en el medio nutritivo de mayor número de concentraciones de P posibles dentro del intervalo crítico, ya que en este experimento el intervalo asignado a la relación P/Fe es menor al obtenido en el experimento anterior que oscilaba de 2,5 a 5,0.

Como hemos visto anteriormente cuando las plantas de maiz se desarrollan en solución nutritiva cuyo contenido en P era de 1.10^{-4} M/l ó más alta, la concentración de P en la materia vegetal experimentaba una disminución, cuando aumentaba el contenido de Fe en el medio nutritivo. Sin embargo, al utilizar soluciones nutritivas cuyas concentraciones en P son más próximas se puede definir que el efecto al variar la concentración de Fe en el medio se pone de manifiesto para valores inmediatamente más altos a $3,2.10^{-5}$ M/l de P.

6.- CONCLUSIONES.

No existe una relación lineal entre la concentración de fosfato en el medio y la cantidad absorbida por los cultivos. Así, un incremento en la concentración de P en solución desde 1.10^{-7} a 1.10^{-5} M/l no provocó ningún aumento en el % de P en las plantas.

A elevadas concentraciones de P en el medio nutritivo (1.10^{-2} M/l) se produce una acumulación de P en los sistemas radiculares y un efecto depresivo en el rendimiento de las plantas de maíz.

En los primeros estadios del desarrollo, es decir, hasta que es visible el cuello de la 12ª hoja, se pone de manifiesto un aumento del flujo de P al aumentar la concentración de dicho nutriente en el medio de cultivo de 1.10^{-5} a 1.10^{-4} M/l, mientras que para concentraciones superiores no se observa variación al aumentar la concentración de P en el medio.

A bajas concentraciones de P en el medio nutritivo se forma un precipitado en las raíces cuyos componentes principales son: Fe, Mg, K y Ca y aparece la deficiencia de P en la planta.

A altas concentraciones de P surge la clorosis férrica.

Cuando la solución presenta un valor en P de $5,5 \cdot 10^{-5}$ M/l o mayor, se observa una disminución en el contenido de P en la planta al aumentar la concentración de Fe del medio nutritivo, mientras que para valores inferiores de P no se observan diferencias significativas al variar la concentración de Fe.

La concentración óptima de P en la solución nutritiva para el máximo rendimiento de las plantas de maíz depende de la concentración de Fe en el medio nutritivo.

El efecto depresivo en el rendimiento de la materia seca de altas concentraciones de P es menor en presencia de un mayor contenido de Fe en el medio nutritivo.

La concentración de Fe en el medio de cultivo es un factor más limitante de la producción de materia seca a altas que a bajas concentraciones de P en el medio nutritivo.

Para valores bajos de Fe en el medio nutritivo ($1 \cdot 10^{-5}$ M/l) la traslocación de este viene dificultada.

tada a altas concentraciones de P (1.10^{-3} M/l), mientras que para valores normales y altos de Fe en solución (2.10^{-5} y 4.10^{-5} M/l) existen dificultades tanto a altas como a bajas concentraciones de P.

Se ha comprobado que la relación P/Fe en el medio nutritivo es un factor muy importante en el desarrollo de las plantas de maiz, debiendo dicha relación estar comprendida entre 1,9 y 3, 2 para obtener el máximo rendimiento en materia seca.

En las partes aéreas de las plantas de maiz desarrolladas en un medio nutritivo cuya concentración en P oscila de 1.10^{-5} a 1.10^{-3} M/l; se produce una disminución del contenido de K, a lo largo del ciclo vegetativo, si bien existe un periodo en el cual la disminución es mayor, dependiendo esto de la concentración de P del medio.

En las plantas desarrolladas en un medio nutritivo con niveles adecuados o superiores de P (1.10^{-4} a 1.10^{-2} M/l) se produce un aumento en el flujo de K hasta que es visible el cuello de la 12ª hoja, experimentando a partir de este momento una disminución.

Las plantas desarrolladas en un medio nutritivo cuya concentración en P sea adecuada o superior (1.10^{-4} y 1.10^{-3} M/l), presentan un antagonismo en el contenido de K de la parte aérea respecto a la concentración de Fe en la solución nutritiva.

El contenido de K en la parte aérea de las plantas de maíz que no presentan síntomas de deficiencia de P, pone de manifiesto una correlación positiva con el P de la materia vegetal, no presentando dicha correlación en las plantas cuyos tejidos muestran síntomas de deficiencia en P.

El flujo de Mg disminuye a lo largo del ciclo de cultivo, cuando las plantas de maíz han sido desarrolladas en una solución nutritiva cuyo contenido de P es adecuado o superior (1.10^{-4} y 1.10^{-3} M/l).

Las plantas desarrolladas sobre un nivel de P inferior al óptimo presentan una mayor traslocación de Mn a la parte aérea, que las plantas de máximo rendimiento.

Posteriormente a la polinización se produce una disminución en la traslocación del Zn a las partes aéreas a medida que aumenta la concentración de fosfato en el medio nutritivo, hasta niveles adecuados de P (1.10^{-4} M/l).

Tanto en los sistemas radiculares como en la parte aérea de las plantas desarrolladas en solución nutritiva con niveles de P adecuados o superiores (1.10^{-4} y 1.10^{-3} M/l), disminuye el contenido de Zn al aumentar la concentración de Fe en el medio nutritivo.

Las plantas desarrolladas en un medio extremadamente deficiente en P (1.10^{-6} M/l) muestran un elevado contenido de Zn en la parte aérea, ya que en estas condiciones se produce una mayor movilidad de dicho nutriente en el interior de la planta.

7.- BIBLIOGRAFIA.

ANDREW, C. S. ; PIETERS, W. H. J. . 1962. A continuous nutrient flow technique for comparative studies in plant nutrition. Aust. J. Agric. Res. 12:1051.

ADRIANO, D. C. ; PAULSEN, G. M. ; MURPHY, L. S. .. 1971. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationships in corn (*Zea mays* L.) seedlings as affected by mineral nutrition. Agron. J. 63 36-39 .

AJAKAIYE, C. O. . 1979 .Effect of phophorus on growth and iron nutrition of millet and sorghum. Plant and Soil 51, 551-561

ALBAUM, H. G. ; UMBREIT, W. W. .1943. Phophorus transformations during the development of the oat embryo . Am. J. Botany 30, 553-558 .

AMBLER, J. E. ; BROWN, J. C. . 1974. Iron supply in Soybean seedlings. Agron. J. 66(4) : 476-478 .

AMBLER, J. E. ; BROWN, J. C. ; GAUGH, H. G. . 1970 . Effect of zinc on translocation of iron in soybean plants Plant. Physiol. 46, 320-323 .

ARNON, D. I. . 1953 . The physiology and biochemistry of phosphorus in green plants. Agronomy. 4, 1-42

ARNON, D. . 1959 . The photochemical apparatus-its structure and function. Brookhaven Symp. Biol. 11:181.

ARNON, D. ; WHATLEY, F. ; ALLEN, M. . 1954. Photosynthesis by isolated chloroplasts. II Photosynthetic phosphorylation.the conversion of light into phosphate bond energy. J. Am. Chem. Soc. 76 : 6324 .

ASHER, C. J. ; LONERAGAN, J. F. 1967 . Response of plants to P concentration in solution culture : I Growth and P content. Soil Sci. 103, 225-233.

AYED, I. A. .1970 . A study of the mobilization of iron in tomato roots by chelate treatments. Plant Soil 32 18-26.

BAKER, D. E. ; THOMAS, W. I. ; GORSLINE, G. W. . 1964. Differential accumulation of Sr, Ca and other elements by corn (Zea mays L.) under greenhouse and field conditions. Agron. J. 56, 352-355.

BANFI, G. ; CAVAZZONI, V. .1963. Influenza dello zinc in soluzioni nutritive non bilanciate, su piantine di mais durante le prime fasi vegetative. Agrochimica 7 314-332 .

BARBER, S. A. . 1978 . Growth and nutrient uptake of soybean roots under field conditions Agron. J. 70 457-461

BARBER, S. A. ; WALKER, J. M. ; VASEY, E. H. . 1962.
Principles of ion movement through the soil to the
plant root membrane. Trans. Comm. IV and V. Intern.
Soil Sci. Soc. , New Zealand, pp 121-124 .

BAR-YOSEF, B. ; BRESLER, E. ; KAFKAFI, U. . 1972.
Uptake of phosphorus by plants growing under field con-
ditions: II Computed and Experimental results for corn
plants. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36 789-794.

BASSIRI, A. ; KASHIRAD, A. ; KHERADNAM, M. . 1979.
Growth and mineral composition of mungbean as influen-
ced by P and Fe fertilization. Agron. J. 71 : 139-141.

BECKETT, J. T. ; ANDERSON, W. P. 1973 . Ferric-EDTA
absorption by maize roots. Ion Transport in plants
595-607 . Academic. Press. London and New York .

BENNETT, J. P. . 1945 . Iron in leaves. Soil Sci.
60, 91-105.

BHATTI, A. S. ; LONERAGAN, J. F. 1970 .Phosphorus
concentrations in wheat leaves in relation to phospho-
rus toxicity. Agron. J. 62, 288-290 .

BIDDULPH, O. ; 1959. Translocation of inorganic solutes.
In F. C. Steward Plant Physiology. 2:553. Academic Press,
New York.

BIDDULPH, O. ; BIDDULPH, S. F. ; CORY, R. ; KOONTZ, H. 1958 . Circulation patterns for P^{32} , S^{35} and Ca^{45} in the bean plant. Plant Physiol 33:293 .

BIDDULPH, O. ; WOODBRIDGE, C. G. . 1952 . The uptake of phosphorus by bean plants with particular reference to effects of iron. Plant Physiol. 27 : 431-444.

BINGHAM, F. T. . 1963 . Relation between phosphorus and micronutrient in plants. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 27, 389-391.

BOAWN, L. C. ; LEGGETT, G. E. . 1964 . Phosphorus and zinc concentrations in Russett Burbank potato tissue in relation to development of zinc deficiency symptoms Soil Sci. Soc. Amer Proc. 28 : 229-232.

BRANTON, D. ; JACOBSON, L. . 1962 . Iron transport in pea plants. Plant Physiol. 37 : 539-545 .

BREWSTER, J. L. ; BHAT, K.K.S. ; NYE, P.H. . 1975. The possibility of predicting solute uptake and plant growth response from independently measured soil and plant characteristics. II The growth and uptake of anions in solutions of constant phosphate concentration. Plant and Soil 42, 171-195.

- BREWSTER, J. L. ; TINKER, P. B. . 1970. Nutrient cation flows in soil around plant roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34 421-426.
- BREWSTER, J. L. ; TINKER, P. B. H. . 1972. Nutrient flow rates into roots. Soil Fert. 35 : 355-359 .
- BROWN, J. C. :.1963 . Interactions involving nutrient elements. Ann. Rev. Plant Physiol. 14 : 93-106 ;
- BROWN, J. C. 1972 . Competition between P and the plant for Fe form Fe^{++} Ferrozine. Agron. J. 64: 240-244 .
- BROWN, J. C. ; AMBLER, J. E. 1974 . Iron-stress in tomato I . Sites of iron reduction, absorption and transport. Physiol. Plant. 31, 221-224.
- BROWN, A. L. ; KRANTZ, B. A. ; EDDINGS, J. L. 1970. Zinc phosphorus interaction as measured by plant response and soil analysis. Soil Sci. 110,415-420 .
- BROWN, J. C. ; TIFFIN, L. O. . 1960. Iron chlorosis in soybeans as related to the genotype of rootstalk . Soil Sci. 89 8-15 .
- BROWN, J. C. ; TIFFIN, L. O. 1965. Iron stress as related to the iron an citrate occurring in stem exudate. Plant Physiol. 40 : 395-400.

BROWN, J. C. ; TIFFIN, L. O. ; HOLMES, R. S. ; SPECHT, A. W. ; RESNICKY, J. W. . 1959 . Internal inactivation of iron in soybeans as affected by root growth medium. Soil Sci. 87 : 89-94 .

BROWN, R. ; POSSIGHAM, J. V. 1957a . Iron deficiency and the growth of pea roots. Proc. Roy Soc. B147, 145-166.

BROWN, R. ; POSSIGHAM, J. V. 1957b . Intracellular incorporation of iron into the root cells of *Pisum*. Nature 180, 653-654 .

BROWN, J. C. ; WEBER, C. R. ; CALDWELL, B. Z. . 1967. Efficient and inefficient use of iron by two soybean genotypes and their isolines. Agron. J. 59::459-462.

BURD, J. S. 1947 . Mechanisms of release of ion from soil particles to plant. Soil Sci. 64 : 223-225.

BURLESON, C. A. ; DACUS, A. D. ; GERARD, C. J. . 1961 The effect of phosphorus fertilization on the zinc nutrition of several irrigated crops. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25 : 365-368 .

BURLESON, C. A. ; PAGE, N. R. . 1967. Phosphorus and zinc interactions in flax. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31 : 510-513 .

CADAHIA, C. . 1973 . Determinación simultánea de N y P en suelos y plantas con un sistema de autoanalizador. Anal. Edaf. Agrob. XXXII , 479-500.

CARELL, E. F. ; PRICE, C. A. . 1965. Porphyrins and the iron requirement for chlorophyll formation in Euglena. Plant Physiol. 40 : 1-7 .

CARPENA, O. ; ABRISQUETA, L. ; SANCHEZ, J. H. ; GUILLEN, M. G. . 1957. Composición química de hojas de Citrus. Anal. Edaf. Agrob. 16 : 1-17 .

CARROLL M.D. ; LONERAGAN, J. F. . 1968. Response of plant species to concentrations of zinc in solution. I Growth and zinc content of plants. Aust. J. Agr. Res 19, 859-868 .

CHANDLER, W. V. . 1960. Nutrient uptake by corn in North Carolina. North. Car. Agr. Exp. Sta. Tech. Bul.,, 143.

CHANEY, R. L. ; BROWN, J. C. ; TIFFIN, L. O. . 1972. Obligatory reduction of ferric chelates in iron uptake by soybeans. Plant Physiol. 50, 208.

CHAPMAN, H. D. ; LIEBING, G. F. . 1938. Adaptation and use of automatically operated sand-culture equipment. J. Agric. Res. 56:73 .

- CHESNIN, L. . 1963. Chelates the trace element nutrition of corn. J. Agric. Food. Chem. 11, 118-122 .
- CHRIST, R. A. . 1974. Iron requirements and iron up-take from various iron compounds by different plant species. Plant Physiol. 54, 582-585 .
- COLEMAN, R. 1943. Utilization of adsorbed phosphate by cotton and oats. Soil Sci. 54 : 237-246 .
- COOPER, A. J. ; CHARLESWORTH, R. R. . 1977. Nutritional control a nutrient-film tomato crop. Scientia Horticulturae 7 : 189 .
- CUMBUS, I. P. ; HORNSEY, D. J. ; ROBINSON, L. W...1977. The influence of phosphorus, zinc and manganese on absorption and translocation of iron in watercress. Plant and soil 48, 651-660 .
- DABIN, B. . 1967. Application des dosages automatiques à l'analyse des sols. Cahiers O. R. S. T. O. M. serie Pedalogie vol. V n° 3 .
- DEKOCK, P. C. ; HALL, A. 1955. The phosphorus-iron relationship in genetical chlorosis. Plant Physiol. 30 : 293-295 .

DEKOCK, P. C. ; HALL, A. . 1962. The effect of nutrient concentration upon the growth and mineral composition of mustard plants. *Agrochimica* 7 : 89

DEKOCK, P. C. ; HALL, A. ; MCDONALD, M. . 1960. A relation between the ratios of phosphorus to iron and potassium to calcium in mustard leaves. *Plant and Soil* 12 : 128-142.

DIDIER, J.de St. AMAND; CAS, G.; LEFRANC, M. C. 1967. Methodes de dosages effectuées par l'autoanalyse au laboratoire de diagnostic foliaire de l'O. R. S. T. O. M.

DOMSCHKE, W. ; MEYER-BERTENRATH, J. G. ; DEMMER, D. ; DOMAGK, G. F. .1970. Untersuchungen am ribosomalen Ferritin normaler, cirrhotischer und carcinomatoesa menschlicher lebern. *Z. Klin. Chem. Klin.Biochem.* 8 : 273-277.

DUNCAN, D. B. .1955 . Multiple range and multiple F test. *Biometrics* 11, 1-50 .

EATON, S. V. . 1949 . Effect of phosphorus deficiency on growth and metabolism of sunflowers. *Botan. Gaz* 110, 449-464 .

EATON, S. V. 1950. Effect of phosphorus deficiency on growth and metabolism of soybean. Botan. Gaz 111, 426-436.

EATON, S. V. . 1952 . Effect of phosphorus deficiency on growth and metabolism of black mustard. Botan. Gaz 113, 301-309 .

EATON, F. M. ; BERNARDIN, J. E. . 1962. Soxhlet-Type automatic sand cultures. Plant Physiol. 37 : 357

ELGALA, A. M. ; HAMDI, H. ; OMAR, M. ; WAFIK, I. . 1971. Iron and phosphorus interaction in calcareous soils: II. Effect on chlorosis development, and some nutrient element contents in soil and plant. United Arab Republic Journal of Soil Science 11(2) 259-269.

ELGAWHARY, S. M. ; MALZER, G. L. ; BABER, S. A. . 1972. Calcium and strontium transport to plant roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36 : 794-799.

FAWCETT, R. G. ; QUIRK, J. P. . 1962. The effect of soil-water stress on the absorption of soil phosphorus by wheat plants. Australian J. Agr. Research 13 : 193-205 .

FORTINI, S. 1961. Assenza di fenomeni antagonistici fra fosforo e ferro nella nutrizione di piante erbacee. Agrochimica 6, 78-85 .

FUWA, K. I. ; WACKER, W. E. C. ; DRUYAN, R. ; BARTHOLOMAY, A. F. ; VALLEE, B. L. . 1960. Nucleic acids and metals II Transition metals as determinants of the conformation of ribonucleic acids. Proc. Nat. Acad. Sci. 46, 1298-1307.

GANIRON, R. B. ; ADRIANO, D. C. ; PAULSEN, G. M. ; MURPHY, L. S. .1969. Effect of phosphorus carriers and zinc sources on phosphorus-zinc interaction in corn. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33, 306-309.

GAUCH, H. G. .1957. Mineral nutrition of plants. Ann. Rev. Plant Physiol 8, 31.

GLENISTER, P. R. 1944. Effects of iron deficiency on respiration of sunflower plants. Botan. Gaz 106 33-40

GREEN, D. G. ; FERGUSON, W. S. ; WARDER, F. G. .1973. Accumulation of toxic levels of phosphorus in the leaves of phosphorus deficient barley. Can. J. Plant. Sci. 53, 241-246.

GRISS, E. .1844. Nouvelles experiences sur l'action des composes ferrugeneux solubres, et de la debilité des plants. C. R. Acad. Sci (Paris) 19, 1118-1119

HAAHR, V. .1975. Comparison of omanual and automatic irrigation of pot experiment. Plant and Soil 43, 497.

HALE, W. Q. ; WALLACE, A. .1960. Bicarbonate and P effects on uptake and distribution in soybeans of iron chelated with EDDHA. Soil Sci. 89, 285-287.

HANWAY, J. J. .1963. Growth stages of corn. Agronomy J. 55, 487-492.

HANWAY, J. J. ; WEBER, C. R. .1971. N, P, and K percentages in soybean (Glycine max L. Merrill) plant parts. Agron. J. 63, 286-290.

HERAS, L. .1960. Potencial de oxido-reducción en la clorosis férrica inducida. An. Aula Dei 6, 136-164.

HERNANDO, V. ; PARDO, M.T. ; LOPEZ-FANDO, C. .1978. Effects of different levels of phosphate on the iron uptake by barley plants. Plant Nutrition 1, 181-188.

HEWITT, E. J. .1944. Experiments in mineral nutrition. Progress Report 1. Long Ashton Research Sta. Ann. Rept. 33-47.

HEWITT, E. J. .1945. Experiments in mineral nutrition. Progress Report 2. Long Asthon Research Sta. Ann. Rept 50-60.

HEWITT, E. J. .1946. Experiments in mineral nutrition. Progress Report 3. Long Ashton Research Sta. Ann. Rept. 44-50.

HEWITT, E. J. .1963. Essencial nutrient elements for plants. In F. C. Steward. Plant Physiology III 137-160. Academic Press, New York.

HEWITT, E. J. ; BOLLE-JONES, E. W. .1951. The effect of zinc and copper deficiencies on crop plants grown in sand culture. Long Ashton Research Sta. Ann. Rept. 1950, 56-63.

HEWITT, E. J. ; BOLLE-JONES, E. W. .1954. The production of copper, zinc and molybdenum deficiency in crop plants grown in sand culture with special reference to some effects of water supply and seed reserves. Plant and Soil 205-222.

HOAGLAND, D. D. ; ARNON, D. E. .1938. The water culture method for growing plant without soil. Univ. Calif. Agric. Exp. Sta. Cir. 347, 1-39.

HOAGLAND, D. R. ; SNYDER, W. C. .1933. Nutrition of strawberry plant under controlled conditions. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci 30, 288.

- HOFFMAN, W. E. .1968. Minerolstofftransport der wurzel in abhangigkeit von ikrem K and P status. Landwirtsch. Forsch. 21, 203-212.
- HOLMES, R. S. .1960. Effect of phosphorus and pH on iron chlorosis of the blueberry in water culture. Soil Sci. 90, 374-379.
- HOUGHLAND, G. V. C. .1947. Minimum phosphate requirement of potato plants grown in solution cultures. J. Agr. Research 75, 1-18.
- HOAGHLAND, G. V. C. .1960. The influence of phosphorus on the growth and physiology of the potato plant. Amer. Potato J. 37, 127-138.
- ILJIN, W. S. .1952. Metabolism of plants affected with lime-induced chlōrosis (calciose) III Mineral elements. Plant Soil 4, 11
- ISLAM, M. A. .1955. The role of solid phase in phosphorus nutrition of plants. Soil Sci. 79, 115-122.
- JACOBSON, L. .1945. Iron in the leaves and chloroplasts of some plants in relation to chlorophyll content. Plant Physiol 20, 233.

JACOBSON, L. .1951. Maintenance of iron supply in nutrient solutions by a single addition of ferric potassium ethylenediamine tetra-acetate. Plant Physiol. 26, 411-413.

JACOBSON, L. ; OERTLI, J. J. .1957. The relation between iron and chlorophyll contents in chlorotic sunflower leaves. Plant Physiol 31, 199-204.

JENKINS, W. L. .1962. The yield and uptake of phosphorus by grasses and clovers II. J. Brit. Grassland Soc 17, 198-205.

JOHNSON, C. M. ; ATKINS, S. .1939. An automatic plant irrigator and recorder. Plant Physiol. 14, 391.

JUNGH, A. ; BARBER, S. A. .1974. Phosphate uptake rate of corn roots as related to the proportion of the roots exposed to phosphate. Agron. J. 66, 554-557.

JUNGH, A. ; BARBER, S. A. .1975. Plant age and the phosphorus uptake characteristics of trimmed and untrimmed corn root systems. Plant and Soil 42, 227-239.

KAKIE, T. .1969. Phosphorus fractions in tobacco plants as affected by phosphate application. Soil Sci. Pl. Nutr. 15, 81-85.

- KASHIRAD, A. ; BASSIRI, A. ; KHERADNAM, M. .1978. Responses of cowpeas to applications of P and Fe in calcareous soils. *Agron. J.* 70, 67-70.
- KASHIRAD, A. ; MARSCHNER, H. .1974a. Effect of pH and phosphate on iron nutrition of sunflower and corn plants. *Agrochimica* 18, 497-508.
- KASHIRAD, A. ; MARSCHNER, H. .1974b. Iron nutrition of sunflower and corn plants in mono and mixed culture. *Plant and Soil* 41, 91-101.
- KASHIRAD, A. ; MARSCHNER, H. ; RITCHTER, C. . 1973. (Absorption and translocation of ^{59}Fe from various parts of the corn root). *Zeitschrift für pflanzenernährung und bodenkunde* 134 (2) 136-147.
- LADIGES, P. Y. .1977. Differential susceptibility of two populations of *eucalyptus viminalis* labill to iron chlorosis. *Plant and Soil* 48, 581-597.
- LAULHERE, J. P. ; ALQUIERBOUFFARD, A. .1969. La disponibilité du fer et la chlorosis. *Phisiol. Veg* 7, 277-296.
- LINDNER, R. C. ; HARLEY, C. P. .1944. Nutrient inter-relatins in lime-induced chlorosis. *Plant Physiol* 19, 420

LONERAGAN, J. F. .1961. The effect of applied phosphorus on the uptake of zinc by flax. Australian J. Sci Research 34, 108-114.

LONERAGAN, J. F. .1968. Nutrient concentration, nutrient flux and plant growth. Trans 9th int Congr. Soil Sci 2, 173-182.

LONERAGAN, J. F. ; ASHER, C. S. .1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture II Rate of phosphate absorption and its relation to growth. Soil Sci 103, 311-318.

LONERAGAN, J. F.; SNOWBALL, K. .1969. Rate of calcium absorption by plant roots and its relation to growth. Aust. J. Agr. Res. 20, 479-490.

LONERAGAN, J. F. ; GROVE, T. S. ; ROBSON, A. D. ; SNOWBALL, K. .1979. Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants. Soil Sci. Soc. Am. J. 43, 966-972.

LUNDEGARDH, H. .1950. The translocation of salts and water through wheat roots. Physiol. Plant 3, 103.

LUNDEGARDH, H. .1954. Anion respiration, the experimental basis of a theory of absorption, transport and

exudation of electrolytes by living cells and tissues. Symp. Soc. Exptl. Biol. 8, 262.

MARTELL, A. E. .1957. The chemistry of metal chelates in plant nutrition. Soil Sci. 84, 13-26.

MARTIN PREVEL, P. 1978. Effects of magnesium and potassium nutrition on phosphorus uptake and redistribution in a cultivated plant, *Musa s. p.* Plant Nutrition 2, 329-338

MATHAN, K. K. ; AMBERGER, A. .1977. Influence of iron on the uptake of phosphorus by maize. Plant and Soil 46, 413-422.

MENGEL, D. B. ; BARBER, S. A. .1974a. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. Agron. J. 66, 399-402.

MENGEL, D. B. ; BARBER, S. A. .1974b. Development and distribution of corn root systems under field conditions Agron. J. 66, 341-344.

MEYER-BERTENRATH, J. G. ; DOMSCHKE, W. .1970. Ribosomes proteins I Reversible separation of iron containing chromoproteins from rat liver ribosomes. Z. Naturforsch. B. 25, 61-66.

MILLIKAN, C. R. .1953. Nutritional disorders in subterranean clover. Dept. Agr. Victoria. Tech. Bull 11.

MILLIKAN, C. R. .1963. Effect of different level of zinc and phosphorus on the growth of subterranean clover. Australian J. Agr. Research 14, 180-205.

NASON, A. ; McELROY, W. D. 1963. Modes of action of the essential mineral elements. Plant Physiology III, 451. Academic Press, New York.

NIELSEN, N. E. ; BARBER, S. A. .1978. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. Agron. J. 70, 695-698.

NOGGLE, J. C. ; FRIED, M. .1960. A kinetic analysis of phosphate absorption by excised roots of millet, barley and alfalfa. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24, 33-35.

ODURUKWE, S. O. ; MAYNARD, D. N. .1969. Mechanism of the differential response of Wf₉ and Oh40B corn seedlings to iron nutrition. Agron. J. 61, 694-697.

OERTLI, J. J. ; JACOBSON, L. .1960. Some quantitative considerations in iron nutrition of higher plants. Plant Physiol 35, 683-695.

- O'SULLIVAN, M. .1969. Iron metabolism of grasses. I Effect of iron supply on some inorganic and organic constituents. Plant and Soil 31, 451-462.
- PANDEY, D. P. ; KANNAN, S. .1979. Absorption and transport of iron in plants as influenced by the major nutrient elements. Journal of plant nutrition 1, 55-63.
- PARKER, F. W. .1927. Soil P studies III Plant growth and the absorption of phosphorus from culture solutions of different P concentrations. Soil Sci 24, 129-146.
- PATEL, P. M. ; WALLACE, A. ; CLARK, R. B. .1976. Phosphorus levels on the ability of an iron- inefficient and an iron-efficient corn inbred to take up iron from nutrient solution. Communications in Soil Science and Plant Analysis 7, 105-106.
- PATTERSON, R. P. ; GRUNES, D. L. ; LATHWELL, D. J. 1972. Influence of root-zone temperature and P supply on total and inorganic P, free sugars, aconitate and soluble amino N in corn. Crop. Science 12, 227-230.
- PAULSEN, G. M. ; ROTIMI, O. A. . 1968. Phosphorus zinc interaction in two soybean varieties differing

in sensitivity to phosphorus nutrition. Soil Sci Soc. Am. Proc. 32, 73-76.

PRABHAKARAN NAIR, K. P. ; BABU, G. R. .1975. Zinc-phosphorus-iron interaction studies in maize. Plant and Soil 42, 517-536.

PRICE, C. A. .1968. Iron compounds and plant nutrition. Ann. Rev. Plant. Physiol 19, 239-248.

PRICE, C. A. ; CARELL, E. F. .1964. Control by iron of chlorophyll formation and growth in *Euglena Graciles*. Plant Physiol 39, 862.

RATHORE, V. S. ; SHARMA, D. ; KANDALA, J. C. .1973. Effect of different iron levels on ^{65}Zn uptake and transport in maize seedlings and excised roots. Paper presented at All India Symposium on Uses of Radiation in Agriculture and Biology held at Chandigarh (Jan 1,2)

REDDY, K. R. ; SAXENA, M. C. ; PAL, U. R. .1978. Effect of iron and manganese on ^{65}Zn absorption and translocation in soybean seedlings. Plant and Soil 49, 409-415.

REDISKE, J. H. ; BIDDULPH, O. .1953. The absorption and translocation of iron. Plant Physiology 28, 576-593.

ROSELL, A. ; ULRICH, A. .1964. Critical Zn-concentrations and leaf minerals of sugarbeet plants. Soil Sci. 97, 152-167.

ROSSITER, R. C. 1952. Phosphorus toxicity in subterranean clover and oats grown on muchea sand and the modifying effects of lime and nitrate-nitrogen. Aust. J. Agric. Res 3, 227-243.

ROSSITER, R. C. .1964. Effect of phosphate supply on the growth and botanical composition of annual type pasture. Aust. J. Agric. Res. 15, 61-76.

RUSSELL, R. S. ; SHORROCKS, U. M. .1959. The relationship between transpiration and the absorption of inorganic ions by intact plants. J. Expt Botany 10, 301-316.

SANCHEZ, B. ; DIOS, G. . 1979a. Los macronutrientes cationicos en el maiz. I Variaciones de la composición con el desarrollo. An. Edaf. y Agrob. 38, 1039-1058.

SANCHEZ, B. ; DIOS, G. .1979b. Los macromutrientes cationicos en el maiz. II. Evolución de la acumulación de K, Ca y Mg, y de sus relaciones durante el cultivo. An. Edaf. y Agrob. 38, 1059-1078.

SHARNA, K.C.; KRANTZ, B.A.; BROWN, A.L. 1968. Interaction of P and Zn on two dwarf wheats. Agron. J. 60, 329-330.

SHARMA, K. C. ; KRANTZ, B. A. ; BROWN, A. L. ; QUICK, J. 1968. Interaction of Zn and P in top and root of corn and tomato. Agron. J. 60, 452-456.

SHIVE, J. W. 1918. Toxicity of monobasic phosphates towards soybean grown in soil and solution cultures. Soil Sci 5, 87-122.

SINGH, R. ; SINHA, M. K. . 1977. Reactions of iron chelates in calcareous soil and their relative efficiency in iron nutrition of corn. Plant and Soil 46, 17-29.

SMITH, P. F. ; REUTHER, W. ; SPECHT, A. W. .1950. Mineral composition of chlorotic orange leaves and some observations on the relation of sample preparation technique to the interpretation of results. Plant Physiol 25, 496.

SNEHI DWIVEDI, R. ; RANDHAWA, N. S. ; BANSAL, R. L. 1975. Phosphorus-zinc interaction I Sites of immobilization of zinc in maize at a high level of phosphorus. Plant and Soil 43, 639-648.

SPRATT, E. D. ; SMID, A. E. .1978. Yield and elemental composition of flax as affected by P and micronutrients. Agron. J. 70, 633-638.

- STUKENHOLTH, D. D. ; OLSEN, R. J. ; GOGAN, G. ; OLSON, R. A. .1966. On the mechanism of P-Zn interaction in corn nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 759-763.
- SWAN, H. S. D. .1963. An automatic sub-irrigation sand culture apparatus. For. Sci. 9, 63.
- TAGAWA, K. ; ARNON, D. I. .1962. Ferredoxin as electron carrier in photosynthesis and in the biological production and consumption of hydrogen gas. Nature 195, 537.
- TERMAN, G. L. ; GIORDANO, P. M. ; CHRISTENSEN, N. W. 1975. Corn hybrid yield effects on phosphorus manganese and zinc absorption. Agron. J. 67, 182-184.
- THORNE, D. W. .1965. Zinc deficiency and its control Advances Agron. 9, 31-65.
- TIFFIN, L. O. .1970. Translocation of iron citrate and phosphorus in xylem exudate of soybean. Plant Physiol. 45, 280-283.
- TRUOG, E. ; GOATES, R. J. ; GERLOFF, G. L. ; BERGER, K.C. 1947. Magnesium- phosphorus relationships in plant nutrition. Soil Sci. 63, 19-25.

- VAN DER VORM, P. D. ; VAN DIEST, A. 1979. Aspects of the Fe and Mn nutrition of rice plants II. Iron and manganese uptake by rice plants, grown on aerobic water cultures. Plant and Soil 52, 19-29.
- VAN DRIED, W. 1964. The effect of iron ethylenediaminetetracetic acid on the growth and metabolism of tomato plants in water culture. Plant and Soil 20, 85.
- VAN HAUT, V. H. ; SCHOLL, G. ; VAN HAUT, G. 1972. Ein doppelwandiges vegetationsgefäß aus kunststoff mit selbsttätiger bewässerung. Landwirtschaftliche Forschung 25, 42.
- VERNON, L. P. 1967. The photosynthetic apparatus in bacteria. In A. San Pietro, F. A. Green, and T. J. Army (eds) Harvesting the sun: photosynthesis in plant life. Academic Press, New York.
- VERNON, L. P. ; ALLISON, J. C. S. 1964. A method of calculating net assimilation rate. Nature 200, 814.
- WALLACE, T. 1961. The diagnosis of mineral deficiencies in Plants. 3rd ed. H. M. Stationery Office, London.
- WALLACE, A. 1971. Do iron chlorotic leaves contain more iron than green leaves?. In "Regulation of the

Micronutrient status of plants by chelating agents and other factors" Ed. A. Wallace UCLA, California p 194-195.

WALLACE, T. ; HEWITT, E. J. 1946. Studies on iron deficiency of crops I. Problems of iron deficiency and the interrelationships of mineral elements in iron nutrition. J. Pomol. Hort. Sci 22, 133-161.

WALLACE, A. ; SOUFI, S. M. ; CHA, J. W. ROMNEY, E. M. 1976. Iron phosphorous interactions in bush beans. Commun. in Soil Sci. and Plant Analysis 7, 104-105.

WALLIHAN, E. F. 1955. Relation of chlorosis to concentration of iron in citrus leaves. Am. J. Botan 42, 101.

WARNCKE, D. D. ; BARBER, S. A. 1974. Root development and nutrient uptake by corn grown in solution culture. Agron. J. 66, 514-516.

WARNOCK, R. E. 1970. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus-induced zinc deficiency. Soil Sci Soc. Amer. Proc. 34, 765-769.

WARREN, R. G. ; BENZIAN, B. 1959. High levels of phosphorus and die back in yellow lupins. Nature 184, 1588.

WATANABE, F. S. ; LINDSAY, W. L. ; OLSEN, S. R. 1965.
Nutrient balance involving phosphorus iron and zinc.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29, 562-565.

WEINSTEIN, L. H. ; PURVIS, E. R. ; MEISS, A. N. ; UHLER
R. L. 1954. Absorption and translocation of ethylene-
diamine tetraacetic acid by sunflower plants. J. Agr.
Food. Chem. 2, 421.

WILLIAMS, D. E. 1961. The absorption of potassium as
influenced by its concentration in the nutrient medium.
Plant and Soil 15, 387.

